



Carla Daniella Pereira da Silva

Bacharel em Engenharia de Produção

Avaliação do desempenho de uma embalagem termo-ativa para produtos alimentares refrigerados utilizando materiais de mudança de fase

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Tecnologias de Produção e Transformação Agroindustrial

Orientador: João Miguel Murta Pina

Júri:

Presidente: [Nome do presidente do júri]

Arguentes: [Nome do arguente 1]
[Nome do arguente 2]

Vgais: [Nome do vogal 1]
[Nome do vogal 2]
[Nome do vogal 3]
[Nome do vogal 4]



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Dezembro, 2020



Carla Daniella Pereira da Silva

Bacharel em Engenharia de Produção

Avaliação do desempenho de uma embalagem termo-ativa para produtos alimentares refrigerados utilizando materiais de mudança de fase

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Tecnologias de Produção e Transformação Agroindustrial

Orientador: João Miguel Murta Pina

Júri:

Presidente: [Nome do presidente do júri]

Arguentes: [Nome do arguente 1]
[Nome do arguente 2]

Vgais: [Nome do vogal 1]
[Nome do vogal 2]
[Nome do vogal 3]
[Nome do vogal 4]



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Avaliação do desempenho de uma embalagem termo-ativa para produtos alimentares refrigerados utilizando materiais de mudança de fase

Copyright © Carla Daniella Pereira da Silva, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Ao meu querido e carinhoso filho, José Miguel

Agradecimentos

À Deus pelo dom da vida e todas as oportunidades colocadas no meu percurso, por sempre possibilitar ir atrás dos sonhos e conquistá-los.

Ao professor Dr. João Pina, por aceitar o desafio do projeto, pela orientação conduzida e maleabilidade para adaptar as ideias durante essa etapa. Meus sinceros agradecimentos.

Ao professor Dr. Fernando Lidon, por sempre ter uma solução imediata e por sempre preocupar-se com os alunos.

Agradeço também à Gráfica Ideal, em nome do Dr., Henrique Paula, muito obrigada pela disponibilidade da vossa equipa em realizar o protótipo da embalagem, da forma como foi arquitetada.

À minha família numerosa e alegre, em especial a minha mãe Zaira, fiel influenciadora, amiga sensível e melhor conselheira da vida. Ao meu pai, meu querido irmão e sua linda família, meu sobrinho pequenino Manuel, tios, tias, primas, primos cunhadas e sogras e todos aqueles que me encham de saudade todos os dias e entendem a distância além-mar. Á minha querida avó sinônimo de resiliência e integridade.

Ao meu querido filho Miguel que todos os dias me encoraja com sua determinação e amor de criança.

Ao meu querido amor Pablo, por todo o apoio incansável para solucionar os problemas, compreensão, paciência e amor. Por ser esta pessoa especial e que me faz muito feliz.

À todos os meus amigos, brasileiros do Brasil e de Portugal, que apoiaram, opinaram, discutiram e abraçaram a amiga muitas vezes mal humorada e ausente, nomeadamente às duas "Renatas" que estiveram sempre comigo durante as inúmeras aulas, trabalhos e testes. Muito obrigada por toda o apoio.

À todos o meu carinho e a minha estima.

A indústria Agroalimentar tem unido esforços nas atividades de produção e transformação, para se ter resultados mais expressivos relacionados ao volume de negócios. Esses esforços incubem-se de melhorar os sistemas de segurança alimentar, já que as maiores tendências para marcar o futuro desse setor a nível mundial estão correlacionadas com a qualidade dos produtos e as questões ambientais inclusivamente na utilização de combustíveis fósseis nos seus processos. A embalagem é um item estratégico para dimensionar essas tendências, visto que surgem muitos conceitos de embalagens ativas, inteligentes que oferecem para além do papel de proteção, soluções para monitorar a qualidade e a segurança alimentar, conservando o produto e desempenhando um papel importante no impacto ambiental. Neste projeto foi desenvolvido uma embalagem termo ativa utilizando papel cartonado e material de mudança de fase (PCM), macro encapsulado, que possui a capacidade de liberar e/ou absorver energia térmica durante as mudanças de fases. Foram realizados dois experimentos de duas horas cada, utilizando duas estações de medição com Arduíno e sensores DHT11 para analisar a temperatura e humidade externa e interna à caixa. A embalagem com PCM manteve a temperatura e a humidade estável por mais tempo, enquanto que a embalagem sem o PCM alargou a curva de crescimento vertiginosamente. Nos primeiros 12 minutos a primeira tinha aumentado 1 °C e mantido a temperatura, enquanto que a segunda aumentou 7 °C. Os resultados apresentados neste trabalho demonstram a importância de uma embalagem utilizando PCM para o controlo da temperatura e humidade na conservação de alimentos e na redução do uso de sistemas refrigerados complexos, abrindo novas oportunidades para o estudo desses materiais na Agroindústria.

Palavras-chave: Agroindústria, Embalagem, Materiais de mudança de fase, temperatura, humidade

Abstract

The Agri-food industry has joined forces in production and processing activities, in order to have more expressive results related to the volume of this business. These efforts aim to improve food security systems, as the major trends to mark the future of this sector worldwide are correlated with product quality and environment, including the use of fossil fuels in their processes. The packaging is a strategic item to scale these trends, as many active, intelligent packaging concepts emerge that offer beyond the protective role, solutions for monitoring food quality and safety, conserving the product, and playing an important role in environmental impact. In this project, a thermo-active packaging was developed using paperboard and phase change material (PCM), a macro encapsulated one that has the ability to release and/or absorb thermal energy during phase changes. Two experiments of two hours each were performed, using two measurement stations with Arduino and DHT11 sensors to analyze the temperature and humidity outside and inside the box. The PCM package kept the temperature and humidity stable for longer, while the package without PCM extended the growth curve vertiginously. In the first 12 minutes, the former had increased by 1°C and maintained the temperature, while the latter increased by 7°C. The results presented in this work prove the importance of packaging using PCM for controlling temperature and humidity aiming for food preservation.

Keywords: Agroindustry, Packaging, Phase change materials, temperature, humidity

Índice

INTRODUÇÃO.....	1
1.1 MOTIVAÇÃO	1
1.2 OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO.....	4
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	4
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1. LOGÍSTICA DA CADEIA DE FRIOS	7
2.3. CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS.....	17
2.4. A IMPORTÂNCIA DA EMBALAGEM NA CONSERVAÇÃO DE FRUTAS E VERDURAS	24
2.5. MATERIAIS DE MUDANÇA DE FASE.....	32
2.5.1. Tipos de PCM's.....	40
2.5.2. Aplicações dos Pcms	44
2.5.3. PCM's na Agroindústria.....	45
MATERIAIS E MÉTODOS EXPERIMENTAIS.....	48
3.1. SELEÇÃO DO MATERIAL DE MUDANÇA DE FASE.....	49
3.2. ARQUITETURA DA EMBALAGEM	52
3.3. PROTÓTIPO INICIAL.....	53
3.4. PROJETO PARA MEDIÇÃO UTILIZANDO ARDUÍNO UNO	53
3.5. EXPERIMENTO	56
RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
4.1 CAIXA COM PCM	58
4.2 CAIXA SEM PCM.....	61
CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS.....	68
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70

Índice de Figuras

FIGURA 1: COMPARATIVO DA CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO DE CALOR ENTRE MATERIAIS	3
FIGURA 2: TEMPO MÍNIMO DE CONSERVAÇÃO	11
FIGURA 3: CONSUMO DE ENERGIA EM PORTUGAL	12
FIGURA 4: CONSUMO ENERGIA POR SETOR NA UNIÃO EUROPEIA	13
FIGURA 5: ESTATÍSTICAS DE PREÇOS NOS MEIOS DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA	14
FIGURA 6: CONSUMO DE ENERGIA DOS MOTORES ELÉTRICOS NA INDÚSTRIA PORTUGUESA	16
FIGURA 7: ISOTERMAS DE ADSORÇÃO	19
FIGURA 8: TEMPERATURA VERSUS REAÇÕES	22
FIGURA 9: REFRIGERAÇÃO E CONGELAÇÃO DE ALIMENTOS.....	23
FIGURA 10: VALOR DE VENDAS DAS INDÚSTRIAS ALIMENTARES (2016-2017)	24
FIGURA 11: PRODUÇÃO DE PAPEL E CARTÃO EM 2019	31
FIGURA 12: CLASSIFICAÇÃO DOS MÉTODOS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA	34
FIGURA 13: TIPOS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA TÉRMICA	36
FIGURA 14: RELAÇÃO ENTRE TEMPO E TEMPERATURA NO AQUECIMENTO DE UMA SUBSTÂNCIA	37
FIGURA 15: FUNCIONAMENTO DE PCM SÓLIDO-LÍQUIDO.....	38
FIGURA 16: CLASSIFICAÇÃO DOS PCM'S	40
FIGURA 17: ESTRUTURA DE UMA PARAFINA	41
FIGURA 18: PCM MACRO ENCAPSULADO.....	43
FIGURA 19: IMAGEM DE UM MICROSCÓPIO DE UM PCM MICRO ENCAPSULADO	44
FIGURA 20: ETAPAS METODOLÓGICAS	49
FIGURA 21: DISTRIBUIÇÃO DE ENTALPIA PARCIAL	51
FIGURA 22: PCM MACROENCAPSULADO DA RUBITHERM.....	51
FIGURA 23: ARQUITETURA DA EMBALAGEM	52
FIGURA 24: PROTÓTIPO INICIAL.....	53
FIGURA 25: DHT11	54
FIGURA 26: TINKECARD DO PLANO DE MONTAGEM	55
FIGURA 27: ETAPAS DO EXPERIMENTO	57
FIGURA 28: GRÁFICOS COMPARATIVOS DE TEMPERATURA INTERNA COM E SEM PCM	67

Índice de Gráficos

GRÁFICO 1: ANÁLISE DE HUMIDADE E TEMPERATURA EXTERNA COM PCM	60
GRÁFICO 2: ANÁLISE DE HUMIDADE E TEMPERATURA INTERNA COM PCM	60
GRÁFICO 3: COMPARATIVO DE TEMPERATURAS COM PCM	61
GRÁFICO 4: COMPARATIVO DE HUMIDADES COM PCM	61
GRÁFICO 5: ANÁLISE DE HUMIDADE E TEMPERATURA EXTERNA SEM PCM	63
GRÁFICO 6: ANÁLISE DE HUMIDADE E TEMPERATURA INTERNA SEM PCM	63
GRÁFICO 7: COMPARATIVO DE TEMPERATURAS SEM PCM	64
GRÁFICO 8: COMPARATIVO DE HUMIDADES SEM PCM	64
GRÁFICO 9: COMPARATIVO ENTRE TEMPERATURAS INTERNAS COM E SEM PCM	66
GRÁFICO 10: COMPARATIVO ENTRE HUMIDADES INTERNAS COM E SEM PCM	66

Índice de Tabelas

TABELA 1: PRINCIPAIS TIPOS DE SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO	15
TABELA 2: PERÍODO DE CONSERVAÇÃO DE FRUTAS E HORTÍCOLAS	26
TABELA 3: PERÍODO DE CONSERVAÇÃO DE FRUTAS E HORTÍCOLAS	27
TABELA 4: RESISTÊNCIAS E TIPOS DE EMBALAGENS	29
TABELA 5: TIPOS DE EMBALAGENS, USO E CARACTERÍSTICAS.....	30
TABELA 6: PROPRIEDADES DOS MATERIAIS DE MUDANÇA DE FASE.....	39
TABELA 7: VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS PCM'S.....	42
TABELA 8: CARACTERÍSTICAS DO RT5HC.....	50
TABELA 9: ESPECIFICAÇÕES DO DHT11	54
TABELA 10: COMPONENTES DO SISTEMA.....	55
TABELA 11: DADOS DA EMBALAGEM COM PCM.....	59
TABELA 12: DADOS DA EMBALAGEM SEM PCM.....	62
TABELA 13: COMPARAÇÃO ENTRE AS OS DOIS CENÁRIOS	65

Introdução

1.1 Motivação

De acordo com o (Decreto lei N° 152-D/2017, 2017), embalagem é qualquer produto feito de materiais de qualquer natureza utilizado para conter, proteger, movimentar, manusear, entregar e apresentar mercadorias, tanto matérias-primas como produtos transformados, desde o produtor a utilizador ou consumidor, incluindo todos os artigos descartáveis utilizados para os mesmos fins.

O plástico detém 40% do seu mercado para a produção de embalagens, tendo como principais países produtores a China, Europa e Estados Unidos da América (Plastic Europe, 2019). Uma estimativa realizada pela Eurostat aponta que em 2050 se chegue a 33 mil milhões de toneladas de plástico utilizado para esse fim, dados esses que aumentam a preocupação ambiental devido à taxa de reutilização e reciclagem dos plásticos em fim de vida ser vertiginosamente baixa se comparada à outros materiais, como os oriundos de materiais celulósicos, conforme aponta a Agência Portuguesa do ambiente (APA, 2019).

Em comparação ao plástico, as embalagens advindas de materiais celulósicos, representadas pela indústria de pasta e papel tem vindo a obter uma alta representatividade no desempenho ambiental e de sustentabilidade, principalmente em Portugal que detém uma posição de referência internacional, devido à produtividade do setor que de acordo com a CELPA (2019), produz 2 milhões de toneladas 20% destinado à produção de embalagem.

Devido à essa atenção ambiental voltada para a utilização de materiais biodegradáveis, os produtos derivados de materiais celulósicos ganham especial atenção devido a alta possibilidade de conversão para esses produtos e principalmente por possibilitar a pesquisa e desenvolvimento de embalagens com multifunções, as chamadas embalagens verdes, ativas ou inteligentes. Estas possuem um papel fundamental em virtude das suas múltiplas funções. Além de conter, conservar e proteger o produto, as

mesmas zelam pela qualidade e segurança, atuando como barreira a contaminações químicas, físicas e microbiológicas (JORGE, 2013).

Praticamente todo produto utiliza embalagem, porém um dos setores industriais que mais dependem delas é o alimentar, principalmente devido à dependência da conservação dos alimentos feito pela embalagem, estando diretamente ligada às questões de segurança alimentar, proteção contra danos físicos e químicos, contribuindo assim para a redução de desperdícios. A organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura- FAO, 2016, afirma que 1,3 bilhões de toneladas de alimentos são desperdiçados por ano no mundo todo, sendo 20% de carnes e laticínios, 35% dos peixes e 45% de vegetais e frutas, ponderando que cerca de 40% dessas perdas ocorrem nas fases industriais de distribuição e armazenamento, ocasionando grande perda econômica, tendo impacto significativo nos recursos naturais.

Dentro desse contexto, a empresa tem identificado a importância de uma boa gestão de distribuição e armazenamento, principalmente para os produtos que necessitam de refrigeração controlada, atentando-se para dois pontos críticos de produção: o alto consumo de energia com sistemas de climatização de refrigeração para manter a temperatura necessária e a obtenção de embalagens capazes de assegurar as características do produto até o cliente final sem que este perca as suas qualidades ou sofra danos.

O alto consumo de energia e de combustíveis nesse sistema, para além de aumentar a concentração de gases poluidores na atmosfera, ainda é um dos custos industriais de maior impacto como também um dos mais difíceis de controlar principalmente em países que dependem de rodovias e consequentemente de transportes realizado por caminhões. Em muitos casos, a distância entre mercados abastecedores e consumidores é grande, como tal, o modo de conservação da qualidade dos alimentos é um grande desafio, devendo existir um controle de monitoramento de temperatura para que não ocorra instabilidade térmica.

Incorpora-se então o conceito essencial para a conservação de alimentos: a logística do frio, que desempenha um papel crucial de preservação de alimentos que necessitam de ambiente modificado pelo frio tendo a temperatura como o fator de maior importância no controle da deterioração e segurança alimentar, necessitando de equipamentos específicos e uma gestão eficiente para obter resultados positivos, já que a conservação de alimentos pelo controle de temperatura contribui para oferecer aos consumidores produtos alimentícios dotados de qualidades nutritivas, organolépticas e agradáveis ao paladar (EVANGELISTA, 1994). Entende-se por organolépticas as características voltadas para a percepção da qualidade do alimento pela cor, brilho, luz, odor, textura e sabor.

Concomitantemente à esfera de controle do ambiente refrigerado, é importante atentar-se para a concepção de embalagens capazes de auxiliar no processo de proteção das qualidades dos produtos,

para facilitar a gestão e tornar o processo mais eficiente, surgindo um conceito de embalagens ativas, caracterizadas por interagir ou reagir ao ambiente e/ou ao produto, para impedir que algum fator indesejável (nomeadamente deterioração dos alimentos) ocorra. Essas embalagens podem ser definidas como embalagens que elementos adicionais foram deliberadamente incluídos no material ou no espaço-livre da embalagem, para melhorar seu desempenho (Robertson, 2006).

Um dos materiais que podem ser adicionados às embalagens ativas é chamado de Materiais de Mudança de Fase (*PCM- Phase change Materials*), que se caracterizam pelo armazenamento de energia térmica, particularmente armazenamento de calor latente, uma solução elegante para solucionar problemas com o alto consumo de energia oriunda dos combustíveis fósseis. Os PCM's possuem uma vasta aplicabilidade na indústria, apresentando-se mais vantajoso do que os sistemas convencionais, provendo conforto e refrigeração térmica em diversas aplicações e estudos, o que torna esse tipo de material interessante e proveitoso para a conservação de alimentos refrigerados.

A Figura 1 apresenta um comparativo da utilização de materiais de mudança de fase com outros materiais, evidenciando a capacidade de armazenamento térmico dos PCM's. Desta forma, devido aos ciclos de absorção e liberação de energia, ocorre uma estabilização de temperatura, fazendo com que os Pcm's sejam eficazes no controle de temperatura, reduzindo a necessidade de climatização de ambientes, gerando um impacto positivo nos consumos e custos energéticos industriais, se utilizados para este fim.

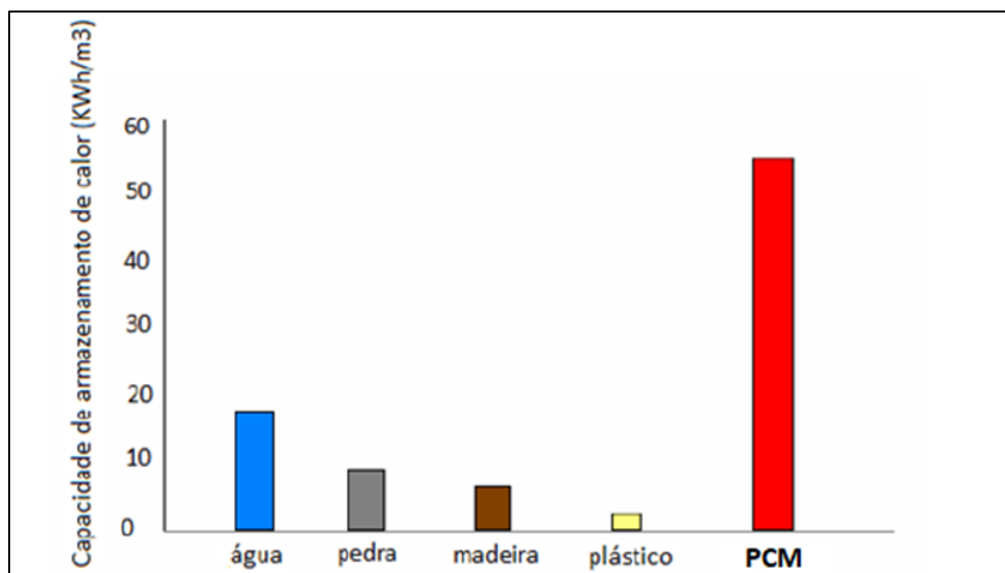


Figura 1: Comparativo da capacidade de Armazenamento de calor entre materiais

Fonte: Teixeira, (2019)

Este trabalho incidirá sobretudo na conceção de uma embalagem para alimentos refrigerados confeccionada com papel cartão e utilizando no seu interior materiais de mudança de fase (PCM's) macro encapsulados, para que esta seja transformada em uma embalagem termo ativa auxiliando a cadeia de frio na avaliação da manutenção da temperatura e humidade no interior da embalagem, permitindo que os alimentos sejam conservados sem a necessidade de climatização exterior complexa, o que permite que os custos energéticos sejam reduzidos e consequentemente a utilização da energia proveniente dos combustíveis fósseis.

1.2 Objetivos da dissertação

Objetivo Geral

Desenvolver uma embalagem ativa utilizando papel cartonado e material de mudança de fase no seu interior, para a conservação de alimentos refrigerados que possam ser colocados em situações de aumento de temperatura durante o seu processo de armazenamento e distribuição.

Objetivos específicos

- I. Analisar os principais conceitos sobre a cadeia de frios e a conservação de alimentos que necessitam de refrigeração, nomeadamente frutas e verduras.
- II. Introduzir o conceito de Materiais de Mudança de fase na Agroindústria, face aos trabalhos já realizados;
- III. Conceber um protótipo de embalagem usando papel cartonado e colocando em seu interior PCM macro encapsulado;
- IV. Criar um sistema de medição usando sensores para realizar experimentos de análise de temperatura e humidade interior e exterior à caixa em detrimento do tempo.
- V. Avaliar a eficiência térmica da embalagem.
- VI. Propor trabalhos futuros que motivem mais investigações na utilização de materiais de mudança de fase na Agroindústria

1.3 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho encontra-se dividido em 5 capítulos, de forma a integrar os dois grandes objetivos do trabalho, a importância da embalagem para a conservação de alimentos e a utilização de armazenamento de energia térmica de forma a garantir a conservação sem a utilização de energia convencional. O conteúdo da dissertação foi arquitetado nos seguintes capítulos:

- **Capítulo 1-** Breve introdução sobre o tema do trabalho, justificando a importância do estudo, resumindo os objetivos que pretende cumprir, benefícios almejados e a estrutura do trabalho.

- **Capítulo 2-** Detém uma síntese do estado da arte no que concerne a logística da cadeia de frios e a estabilidade térmica advinda da utilização de Materiais de Mudança de fase. Primeiramente explora temas importantes como a logística na cadeia de frio, o consumo de energia na cadeia de frio, conservação de alimentos e a importância da embalagem para a conservação de frutas e verduras. Em seguida elucida os materiais de mudança de fase e as aplicações desses materiais na Agroindústria, exemplificando a sua utilização com trabalhos de outros autores nos quais o PCM foi aplicado com sucesso.

- **Capítulo 3-** Representa o estudo experimental do protótipo de uma embalagem com PCM macro encapsulado no seu interior, arquitetando um projeto com sensores para monitorar o comportamento de temperatura e humidade no interior da embalagem realizando comparações com a temperatura exterior.

- **Capítulo 4-** Apresenta a análise de resultados dos experimentos realizados, realizando a análise de dados e principais discussões.

- **Capítulo 5-** Expõe as principais conclusões do trabalho, evidenciando as contribuições do estudo, análise final e sugestões para trabalhos futuros que darão continuidade ao estudo apresentado neste trabalho.

Revisão Bibliográfica

2.1. Logística da cadeia de Frios

A logística faz parte de todas as etapas de processo de produção, desde a chegada da matéria-prima até a entrega do produto ao consumidor, bem como qualquer pós-venda que ocorra. Dito isso, um bom fluxo logístico se assemelha a controlar a qualidade do produto, atendendo as necessidades de cada etapa, entregando o produto dentro do prazo e atendendo todas as expectativas. Para Alves (2010), a logística é responsável pela movimentação geral dos produtos, que se dá pelas três áreas: suprimentos, apoio à produção e distribuição física, enfrentando os problemas decorrentes da distância que separa clientes e fornecedores.

Os custos logísticos são dispendiosos, por este motivo as empresas focam no processo de distribuição, principalmente nos custos de transportes que é uma ferramenta da logística que requer uma avaliação rigorosa de adaptação inclusivamente dos veículos, para que os mesmos assegurem a circulação de fluxos físicos, as mercadorias e produtos entre produtores e consumidores. Quanto mais interfaces de transbordo tiver, mais lenta e mais dispendiosa fica a operação e conduz a menor fiabilidade e maior a possibilidade de quebras e prejuízos (Dias, 2014).

Quando se fala em produtos agrícolas, o transporte deve assegurar a mesma qualidade principalmente na fase de armazenagem, devido a alta perecibilidade dos mesmos. A armazenagem é um ponto importante da cadeia de suprimentos e juntamente com a distribuição física dos produtos reúnem os pontos mais cruciais no ramo alimentar, devendo haver um processo totalmente integrado, com tecnologias da informação, boas condições de conservação e controle de higiene e qualidade.

Para os produtos que precisam de refrigeração na sua fase de armazenagem e distribuição, surge um novo conceito para a gestão desse processo, que deve levar em consideração bases teóricas

voltadas para o controlo da temperatura e humidade: a cadeia de frio, que é uma denominação nova para o que se sabe sobre logística de alimentos refrigerados ou congelados que tem como objetivo conservar o alimento até que este chegue ao consumidor final.

Para Salin e Nayga (2002) a cadeia de frio é uma cadeia de suprimentos na qual é necessário o controle da temperatura adequado ao ambiente (refrigerado e/ou congelado). Para isso, deve-se fazer o uso de equipamentos específicos e processos que propiciem este controle. Já Pereira et al. (2010) descreve como uma cadeia que compreende todo processo de armazenamento, conservação, distribuição, transporte e manipulação dos produtos, porém que nestes processos ocorram o controle e a manutenção da temperatura adequada para garantir e assegurar a qualidade da carga.

A cadeia do frio abrange então uma variada gama de produtos sendo eles: alimentícios, farmacêuticos, cosméticos entre outros. E ela se relaciona diretamente com o tipo de produto a ser manipulado, gerando especificações importantes quanto à mercadoria. Qualquer rompimento do frio pode ocasionar danos à qualidade do produto, por isso assegurar este parâmetro se torna de grande importância, caracterizando-se assim como uma cadeia de suprimentos complexa, pois agrega competências como refrigeração, segurança alimentar, tecnologia de controle de temperatura, entre outros (Pereira et al. 2010; Iir, 2004).

De acordo com o Regulamento (CE) Nº 852/2004 que tem como objetivo a proteção dos alimentos em defesa da inocuidade da saúde humana, destina estabelecer regras gerais de higiene aplicáveis aos alimentos e os processos de controlo, durante todo o processo de manipulação desde a chegada da matéria-prima até a entrega do produto final ao cliente, levando em consideração os seguintes princípios:

1. Os operadores do sector alimentar são os principais responsáveis pela segurança dos géneros alimentícios;
2. A necessidade de garantir a segurança dos géneros alimentícios ao longo da cadeia alimentar, com início na produção primária;
3. No caso dos géneros alimentícios que não possam ser armazenados com segurança à temperatura ambiente, a importância da manutenção da cadeia do frio, em especialmente para os alimentos congelados;
4. A aplicação geral dos procedimentos baseados nos princípios HACCP (sigla internacionalmente conhecida pela *Hazard Analysis and Critical Control Point*- Análise de Perigos e Pontos Críticos), associadas à observância de boas práticas de higiene, deve reforçar a responsabilidade dos operadores das empresas do sector alimentar;

5. Os códigos de boas práticas constituem um instrumento valioso para auxiliar os operadores das empresas do sector alimentar, a todos os níveis da cadeia alimentar, na observância das regras de higiene e dos princípios HACCP;
6. A necessidade de serem estabelecidos critérios microbiológicos e requisitos de controlo da temperatura baseados numa avaliação científica do risco;
7. A necessidade de assegurar que os géneros alimentícios importados respeitem, pelo menos, os mesmos padrões em termos de higiene que os géneros alimentícios produzidos na Comunidade Europeia ou padrões equivalentes.

O regulamento ainda ressalta que “as matérias-primas, os ingredientes e os produtos intermédios e acabados, suscetíveis de permitirem a reprodução de microrganismos patogénicos ou a formação de toxinas não devem ser conservados a temperaturas de que possam resultar riscos para a saúde. A cadeia de frio não deve ser interrompida. No entanto, desde que daí não resulte um risco para a saúde, são permitidos períodos limitados sem controlo da temperatura, sempre que tal seja necessário para permitir o manuseamento durante a preparação, o transporte, a armazenagem, a exposição e a apresentação dos alimentos ao consumidor.

Para que estas competências sejam asseguradas é imprescindível que se tenha a temperatura como o fator mais importante em toda a cadeia e isto requer uma infraestrutura que consiga salvaguardar as condições em toda a cadeia de frio. Essa infraestrutura compreende os armazéns, embalagens, veículos de transporte, monitorização da temperatura e humidade.

Conforme Silva (2010) abrange, os fatores chaves relacionados com o desempenho da cadeia de frio, agrega:

- A importância de medir a temperatura em vários pontos da cadeia, possibilitando conhecer e controlar as trocas de calor, tendo assim um histórico térmico;
- Permissividade de uma rápida estabilidade térmica, construída devido à um sistema de refrigeração eficiente e controlado; Facilidade para uma rápida estabilidade térmica, construída devido à um sistema de refrigeração eficiente e controlado;
- Os equipamentos que produzem frio devem ser escolhidos de modo a evitar a quebra da cadeia de frio por causa de ruturas;
- A forma que se constitui o armazenamento deve promover o bom acondicionamento físico dos produtos, respeitando layouts, sistemas de carregamento transitório como paletes, embalagens entre outros;
- Otimização do tempo de verificação e recebimento de cargas, para redução do tempo de espera;
- Regras de rotação de estoques para que, sem e tratando de produtos perecíveis, o primeiro que entrar, seja o primeiro a sair;

- Planeamento na elaboração do Picking, montando cargas e transportando-as sem interferir na sua integridade;
- Boa roteirização, para reduzir tempos de rotas;
- Procedimento de manuseamento adequado permitindo a ligação entre os processos da cadeia de frio.

O transporte de produtos refrigerados necessita de bastante atenção, pois o controlo de temperatura é um fator primordial para a conservação da qualidade e das propriedades organoléticas de produtos alimentícios. Depois da colheita, qualquer variação de temperatura fora do padrão especificada ao produto pode levar a perdas e danos. Para os produtos alimentares sujeitos a condições controladas, tais como produtos refrigerados e congelados, é fundamental o controlo do parâmetro-chave de todo o processo que é a temperatura (Baptista, 2007).

Cerca de 300 milhões de toneladas ao ano de produtos da cadeia do frio são perdidos em função de um processo de refrigeração deficiente ao longo da cadeia de suprimentos (Carvalho, 2013). Por isso, o primeiro fator importante a levar-se em consideração é o tipo de produto que está tratando, para que todas as informações necessárias para a sua conservação, seja levada em consideração. Baptista, (2007) explana que quando se transporta uma carga, é interessante levar em conta a embalagem (embalagem primária, secundária, terciária ou mesmo sem embalagem) como também analisar a exigência de controle e monitoramento do ambiente através de variáveis como: temperatura, umidade relativa, luminosidade, atmosfera modificada, entre outras.

Van der Vorst et al. (2009) refere que nos produtos alimentares, a seguir às variações biológicas, a qualidade alimentar é determinada pelas condições ambientais como a temperatura e a humidade. Por sua vez, estas últimas podem ser influenciadas pelo tipo de embalagem, percurso e controlo de temperatura no transporte e na armazenagem. De uma maneira geral, produtos alimentícios refrigerados que não sejam embalados, transportados e armazenados apropriadamente, também tendem a se deteriorar em tempo relativamente mais curto (Giannakourou et. al. 2005), como pode ser visto na Figura 2.

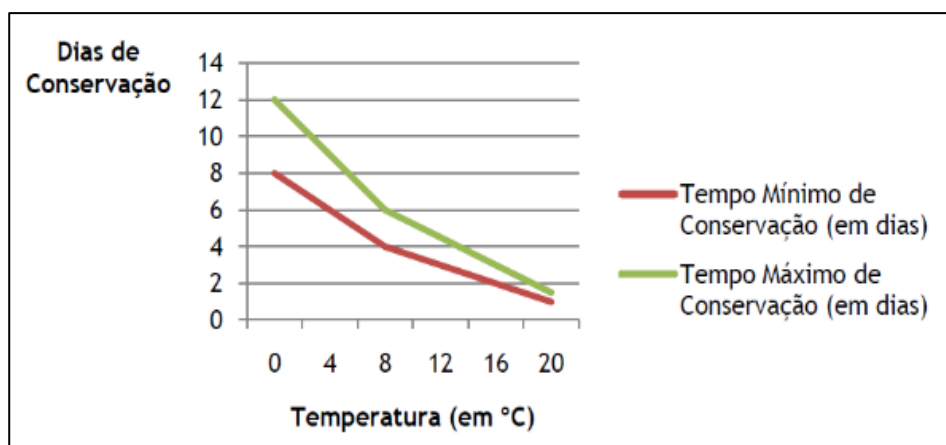


Figura 2: Tempo Mínimo de Conservação **Fonte:** Vorst, et. Al. (2009)

Segundo Baptista, (2006), a minimização de ocorrências com impacto para o consumidor, deve constituir uma preocupação para todos os intervenientes na cadeia alimentar, sendo que se deve ter em consideração todas as fases, considerando o mais importante que é o transporte dos produtos alimentares. Para os alimentos que precisam de um controlo de temperatura, o transporte deve ser feito de forma a garantir que as variações de temperatura não sejam um problema na qualidade dos produtos.

Como por exemplo, os alimentos refrigerados devem ser transportados em uma temperatura de cerca de 4° C, utilizando a refrigeração mecânica, principalmente a longas distâncias pois isto faz com que se reduza os riscos de deterioração causado durante o transporte, sendo fundamental a monitorização.

Na realidade, a cadeia do frio envolve uma série de operações frigoríficas com produtos sob temperatura e umidade relativa controladas. A sequência de operações pode ser simples, como um pré-resfriamento por adição de gelo, seguido de transporte em veículo isotérmico até o mercado consumidor, ou pode ser muito mais complexa. Sua utilização depende da característica do processo de comercialização e tem variações de acordo com o produto considerado (Nantes & Machado, 2005).

Por isso, a gestão eficaz na cadeia de frios, levando em consideração a tecnologia da refrigeração, com as variáveis de temperatura e humidade, impactam positivamente sobre a vida de armazenamento e segurança de frutas e hortaliças pois isso faz com que haja uma maior eficiência no monitoramento das condições de conservação em cada fase da cadeia de produção e distribuição, na melhoria da eficiência dos processos e no controle da qualidade, proporcionando transparência no fluxo da cadeia, permitindo ações pró-ativas na solução de problemas e na melhoria da precisão da informação para todos os envolvidos. (Lao et al., 2012; Wognum et al., 2011).

2.2 Consumo de energia na cadeia de frio

Muito já se sabe da dependência dos países na utilização de combustíveis fósseis utilizados na geração de energia para a realização de atividades humanas seja na vertente social como também na económica. A procura por energia tende a sempre aumentar, mesmo que recentemente tenha surgido novas fontes energéticas que não provocam tantas consequências na atmosfera se comparadas com as energias oriundas do petróleo, gás e carvão.

Segundo a Direção – Geral de Energia e Geologia (2019), entende-se por consumo de energia primária aquela que é utilizada diretamente ou a que é sujeita à transformação para outras formas energéticas. Resulta da soma das importações com a produção doméstica., retirando as saídas e a variação de stocks. E por Consumo final, aquele que é o observado, obtido a partir do consumo de energia primária excluindo-se o consumo para outras formas de energia, o consumo no setor energético e o consumo como matéria-prima, conforme mostra a Figura 3 a seguir.

Tende a ser observado que o petróleo e derivados ainda compõem as fontes energéticas mais utilizadas, representando cerca de 47% do consumo de energia final, seguida da energia elétrica e gás natural.

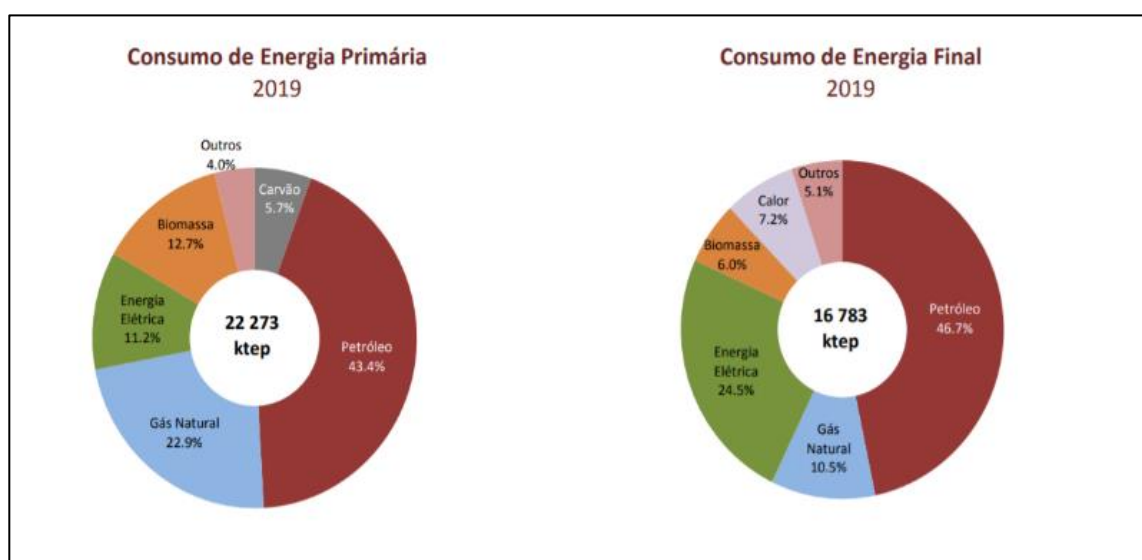


Figura 3: Consumo de Energia em Portugal **Fonte:** Direção Geral de Energia e Geologia (2019)

Em Portugal, segundo o balanço energético de 2019, o consumo de energia final aumentou em 2019, devido ao incremento do consumo de combustíveis rodoviários, como também o consumo de “*jet fuel*” na aviação internacional aumentou em 5,4% e o consumo de combustíveis nos transportes marítimos internacionais subiu em 18%.

Como pode ser visto na Figura 4, houve um aumento do consumo de energia principalmente no setor de transporte, aumentando assim 36% do consumo final de energia, o que torna os transportes

e as indústrias os sectores de atividade com maior peso no consumo final de energia, principalmente no que concerne à utilização de equipamentos (nomeadamente equipamentos que necessitam de motores elétricos) onde são responsáveis, na EU, por cerca de utilizar 70% da energia elétrica total consumida na indústria, de acordo com a Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG), (2019).

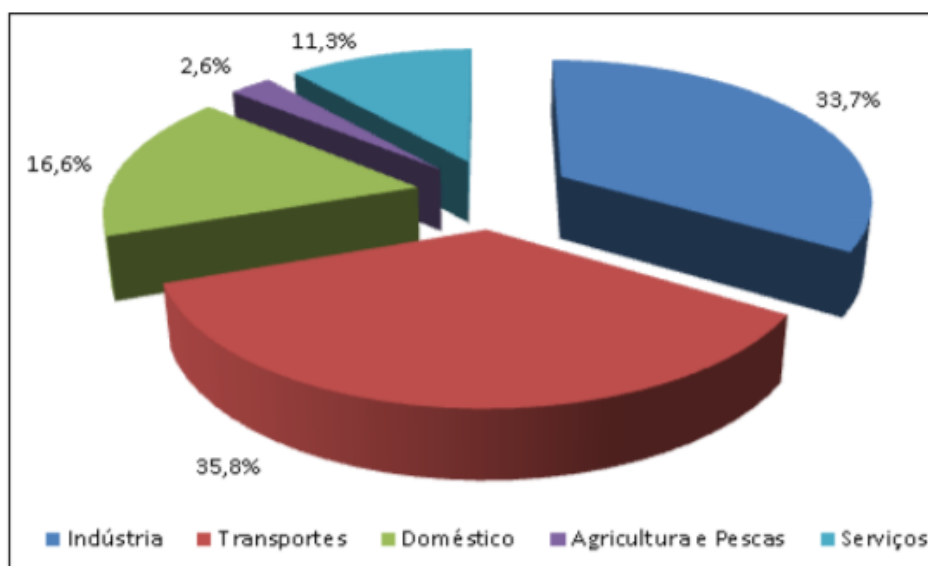


Figura 4: Consumo energia por setor na União Europeia **Fonte:** FFMS, (2016)

A Agricultura e Pesca está demarcado pelo sector agroalimentar, que em Portugal tem uma representatividade industrial muito importante economicamente, pois é responsável por um grande volume de negócios no mercado interno e externo. O sector agroalimentar é constituído pelas fileiras agrícola, pescas e agroalimentar – indústrias alimentar e de bebidas, e integra o sector de bens transacionáveis considerado estratégico no desígnio governamental para que Portugal aumente a sua produtividade, competitividade, crie emprego, e consequentemente reforce a dinâmica da sua atuação internacional com impacto positivo no crescimento da economia portuguesa (Portugal Foods, 2017).

No caso agroalimentar, os consumos de energia podem atingir valores bastante elevados através do processo de transformação dos produtos alimentares, mas principalmente pelo seu armazenamento. Tipicamente, o método de conservação de produtos alimentares é realizado através do frio, ou refrigeração, e consequentemente apresenta um peso significativo no total dos requisitos energéticos da empresa (Ashrae, 2006). A forma energética mais utilizada é o gásóleo, representando cerca de 80% do total do consumo.

A Figura 5, representa os gastos da indústria alimentar de acordo com as projeções do Instituto Nacional de Estatísticas de 2018, o que mostra uma utilização alargada de energia na indústria de transformação.

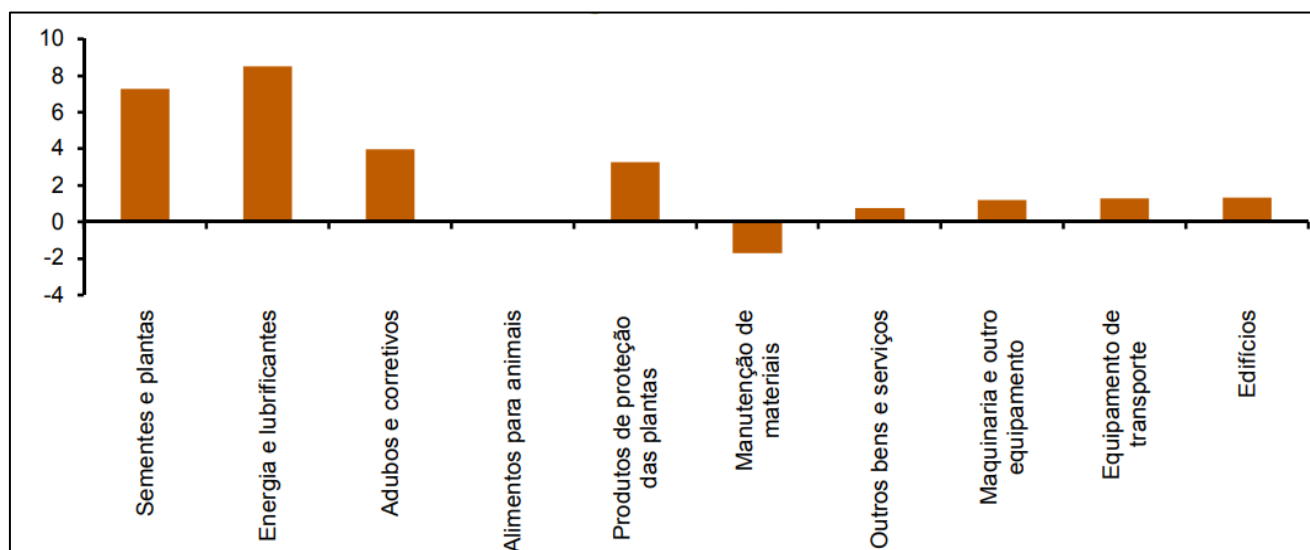


Figura 5: Estatísticas de preços nos meios de Produção agrícola em percentagem **Fonte:** INE (2018)

Nesse sector é bastante importante a conservação dos produtos, visto a sua alta perecibilidade, por isso que as indústrias agroalimentares dependem da eletricidade para a gestão da refrigeração que tem como objetivo diminuir a temperatura dos alimentos, utilizando um sistema que compreende um ciclo de refrigeração termodinâmico, com capacidade para remover as cargas térmicas no espaço de conservação, permitindo manter uma determinada temperatura imposta em uma determinada zona (Martins, 2012).

A utilização dos sistemas de refrigeração para o setor agroalimentar é bastante complexa, devido à utilização de diversos componentes altamente dependentes da energia elétrica para o seu funcionamento no que concerne os setores da produção, transporte e estoque desses alimentos.

Existem alguns sistemas de refrigeração que diferem pelo princípio de funcionamento e suas aplicabilidades, podendo ser funcional para refrigeração doméstica, industrial, podem ser usadas em meios de transportes como aeronaves e navios, conforme Dias (2012), explanou na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1: Principais tipos de Sistemas de Refrigeração

Sistemas de Refrigeração	Princípio de Funcionamento	Exemplos de Aplicações
Compressão mecânica de Vapor	Um fluido volátil (fluido frigorígeno) recebe calor e evapora a baixa pressão e temperatura	Ar condicionado, frigoríficos domésticos, sistemas de refrigeração comercial e industrial de médio e grande porte
Absorção de vapor	O vapor de um fluido a baixa pressão e temperatura sendo posteriormente destilado da solução a alta pressão	Pequenos frigoríficos domésticos e sistemas de refrigeração e ar condicionado de médio e grande porte
Efeito termoelétrico	Uma corrente elétrica atravessa a junção de dois materiais diferentes produzindo o arrefecimento	Instrumentos de medida do ponto de orvalho do ar e equipamentos eletrônicos
Expansão de Ar	O ar a alta pressão sobre a expansão adiabática realiza trabalho sobre um pistão diminuindo assim a sua temperatura	Arrefecimento de aeronaves
Ejeção de Ar	A passagem de vapor a alta pressão através de um difusor, provoca a evaporação da água existente num tanque reduzindo a temperatura	Sistemas de ar condicionados em Navios

Fonte: Dias, (2012)

Dito isso, compreende-se que os sistemas de refrigeração são indispensáveis e consequentemente o uso da energia elétrica para que os motores sejam acionados, já que possuem uma alta importância para a indústria. Os motores elétricos são utilizados numa vasta gama de aplicações, principalmente na movimentação de fluídos em bombas, compressores e ventiladores, entre outros. (Amado,

2018). A Figura 6, representa o gasto energético delimitado pelo tipo de motores usados nos sistemas de refrigeração.

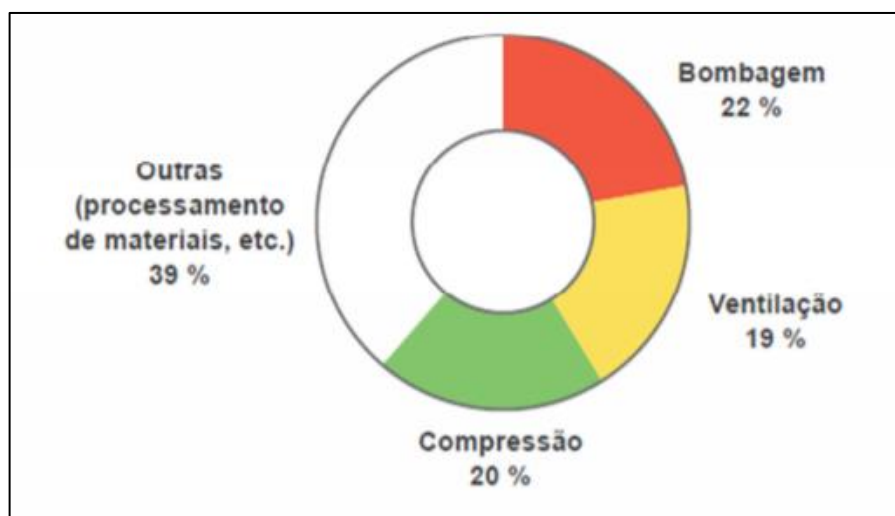


Figura 6: Consumo de energia dos motores elétricos na indústria portuguesa

Fonte: (Amado, 2018)

A aplicabilidade do sistema de refrigeração é muito vasta, estabelecendo critérios de utilização para o condicionamento de ar, dando ênfase para o conforto térmico de pessoas, principalmente, e também, como já foi explanado anteriormente, para o armazenamento de alimentos objetivando a sua conservação. A aplicabilidade industrial tem por objetivo satisfazer condições de processos (Stoecker, 2002). Devido a esta diversidade de aplicações, estes sistemas apresentam diversas configurações com diferentes características capazes de suprir as necessidades do processo específico em causa (Polleto, 2006).

Para a correta utilização dos sistemas frigoríficos é muito importante a seleção dos equipamentos de refrigeração uma vez que se os equipamentos não atenderem à potência frigorífica requerida de uma câmara, não é possível resfriar o ar da câmara nem o produto que ela contém (Gosney, 1982).

Além da gestão pelo uso eficiente dos equipamentos de refrigeração escolhidos, deve-se levar em consideração que além da climatização, os custos tanto na armazenagem quanto na distribuição são cerca de 30% maiores quando comparados a uma operação envolvendo produtos secos (BORRÉ & AGITO, 2005). E além do mais, o sector da refrigeração foi apontado como um dos que mais tem vindo a contribuir para o aquecimento global do planeta.

Após o protocolo de Quioto, alguns dos fluidos utilizados em sistemas de refrigeração foram incluídos nos gases que contribuíam para o efeito de estufa (HFC). Assim, a investigação ao nível de alternativas destes gases tornou-se uma necessidade premente.

Portanto, a cadeia de frio mostra-se dispendiosa tanto em relação aos equipamentos utilizados, como no usufruto de energia, o que nos faz, segundo Mattozo, Camargo e Lage (2000), ter que buscar a sustentabilidade energética por meio de atividades produtivas mais eficientes, combatendo o desperdício, incentivando o uso racional das fontes de energia tradicionais e a utilização de novas fontes de energia são os objetivos da área de conservação, que trabalha com práticas tecnológicas e políticas que buscam abastecer a sociedade com a energia necessária, com menor custo ambiental, financeiro e social.

2.3. Conservação de Alimentos

O alimento é uma necessidade humana básica, responsável pela nutrição e detenção de todos os componentes necessários para assegurar o ciclo regular da vida. Ele é determinado como todas as substâncias ou mistura de substâncias, que podem ser líquidos, sólidos, pastoso ou de qualquer forma adequada, que tem como função fornecer ao organismo humano os elementos normais à sua formação, manutenção e desenvolvimento (Brasil, 2001)

Para além da função de subsistência humana, o alimento enquadra-se também em uma função social e cultural, pois esteve no centro da evolução da sociedade, desde antes da descoberta do fogo até os dias atuais. Quando o homem era nômade, buscavam sempre estar perto de ambientes que proporcionassem os alimentos necessários para as longas viagens que faziam. A desidratação é o método mais antigo para preservar os alimentos. Os povos primitivos desidratavam ervas, raízes, fruta e carne através da exposição solar para sobreviverem a longos períodos de inverno, devido aos escassos ou inexistentes recursos alimentares.

Desde que essa prática foi se extinguindo e dando espaço para a permanência em um único local, houve o surgimento da agricultura e com isso, maior quantidade de alimento disponível, surgindo então a necessidade de armazenar para épocas de escassez, e com isso, as primeiras práticas de conservação de alimentos, que ocorriam pelo fogo, na cozedura ou fumagem, práticas que eram realizadas de forma empírica mas que serviu de base para as técnicas de conservação atuais.

No decorrer do século XX, essas técnicas foram aprimorando-se na medida que ocorria o crescimento populacional e a abrangência da industrialização, onde se tornou relevante a tecnologia de alimentos, ciência na qual se concentra o desenvolvimento de métodos e processos capazes de aumentar e transformar os alimentos, seja no seu tempo de vida como também nas inúmeras formas de apresentação e disponibilidade.

Em um contexto histórico, Campbell, 2009, resume como se deu a evolução da tecnologia de alimentos quando afirma que, na antiguidade, para conservar os alimentos, o homem se valia principalmente de técnicas de secagem ao sol, salga e defumação. Já no período do Império Romano (750 a.C a

475 d.C), os povos mediterrâneos empregavam neve para a conservação de carnes e frutos do mar. Em 1795, Nicholas Appert, um chef francês, determinado a ganhar o prêmio oferecido por Napoleão, para quem impedisse a deterioração do abastecimento militar, cria o processo de enlatamento de alimentos. Apenas em 1864, Louis Pasteur, investigando as doenças que afligiam o vinho, descobre que os microrganismos poderiam ser destruídos pelo aquecimento a 55°C. O processo tornou-se conhecido como pasteurização e logo seria também aplicado à produção de cerveja e leite. Avançando na linha do tempo da conservação de alimentos, em 1960 foi desenvolvido pela Pillsbury Company, em resposta aos requisitos de inocuidade impostos pela NASA para os “alimentos espaciais”, o sistema HACCP – sigla em inglês que significa “Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle”, que continua sendo a abordagem padrão para o gerenciamento de riscos de origem alimentar.

Sendo assim, o objetivo da conservação do alimento é manter todas as características de aumento de durabilidade e redução do tempo de deterioração estáveis, evitando as alterações provocadas pelas enzimas próprias dos produtos naturais ou por microrganismos que, para além de causarem o apodrecimento dos alimentos, podem produzir toxinas que afetam a saúde dos consumidores. Mas também existe a preocupação em manter a aparência, o sabor e o conteúdo nutricional dos alimentos. (Campel, 2009).

Nesse contexto, a conservação de alimentos, mantendo da melhor maneira possível suas condições naturais, tem sido uma preocupação constante dos pesquisadores. (Leonardi; Azevedo, 2018), surgindo novas preocupações no campo alimentar, principalmente no que diz respeito aos produtos perecíveis, como produtos hortofrutícolas, dando ênfase à qualidade e a segurança alimentar como fatores primordiais à integridade humana, surgindo assim consumidores cada vez mais conscientes exigindo produtos mais seguros e com menor impacto ao meio ambiente e à saúde humana (Beirão-da-Costa et al., 2014).

O objetivo da conservação de alimentos é evitar ou retardar a decomposição de produtos de origem vegetal e animal. Existem inúmeras formas de conservação, como por exemplo, do ponto de vista face aos agentes físicos e químicos, o efeito da luminosidade pode ser minimizado mediante utilização de embalagens opacas, ou que protejam os alimentos da sua exposição; face ao efeito de ácidos e bases pode ser atenuado com a utilização de embalagens apropriadas, ou neutralizando essas substâncias. (Lidon & Silvestre, 2008).

Do ponto de vista industrial, conservar um alimento significa aumentar seu tempo de vida-de-prateleira (shelf-life), impedindo que a atividade microbiana altere as propriedades organolépticas e nutricionais do produto, (Fellows, 2006), o que faz com que o cliente tenha o produto com a qualidade desejada.

Os principais processos utilizados na conservação dos alimentos são a redução de atividade de água (concentração, secagem e desidratação) e uso de frio (resfriamento e congelamento), que reduzem a velocidade das reações, aplicação de calor (tratamentos térmicos como pasteurização e esterilização), que inativa microrganismos e enzimas capazes de deteriorar o alimento, e redução de pH (acidificação), seguida de tratamento térmico, que restringe o crescimento de microrganismos (Fellows, 2006).

A escolha do método mais equivalente ao objetivo que queira ser alcançado, depende de fatores tais como a natureza do alimento, qual o período que se quer conservar, quais são os agentes de deterioração e os custos que estão envolvidos no processo, os principais métodos de conservação estão divididos por:

1. Conservação de alimentos pela redução de água
2. Conservação de alimentos pela aplicação de calor
3. Conservação de alimentos pelo uso do frio

A **conservação de alimentos pela redução de água** tem como papel fundamental entender o crescimento microbiano e a atuação de enzimas devido às perdas e ganhos de água nos alimentos. A presença de água nos alimentos, em determinadas concentrações, facilita a deterioração dos mesmos, por ação dos microrganismos e das enzimas ou através de reações químicas ou enzimáticas. Assim, retirando a água dos alimentos pode-se expandir sua vida útil. (Lidon & Silvestre, 2008).

A Figura 7 expressa a relação entre a atividade de água em um alimento e o conteúdo da água, o que é denominado de isoterma de adsorção. A região correspondente a uma atividade da água entre 0 e 0,2 é onde geralmente existe mais riqueza de água, conferindo uma estabilidade máxima. Os isotermas são curvas de sorção de água que representam a relação de equilíbrio entre o conteúdo de humidade no alimento e a atividade de água a uma dada temperatura e pressão (Rizvi, 1995).

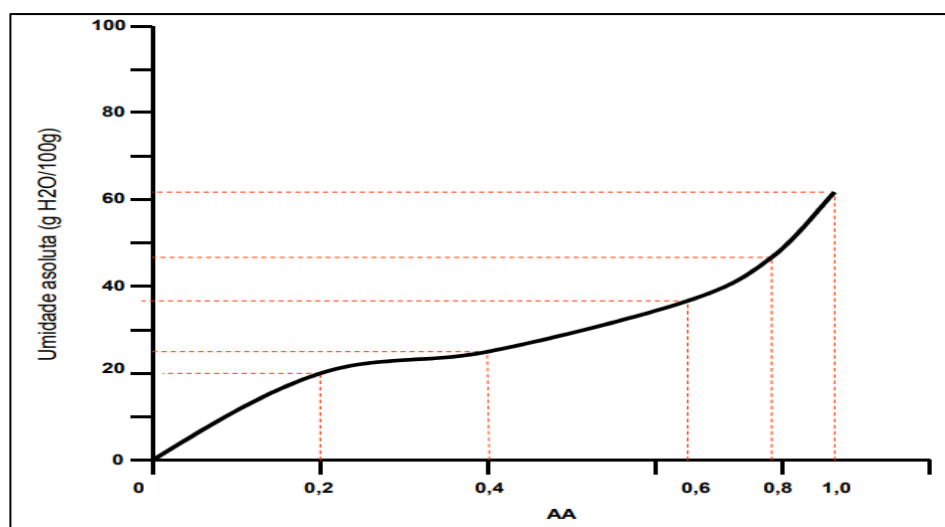


Figura 7: Isotermas de Adsorção **Fonte:** Adaptado de Lidon & Silvestre,(2008)

Por isso, os métodos que utilizam o recurso de controlar a humidade para a retirada de água do produto, ocasionando uma desidratação, podem ser feitos mediante secagem dos alimentos, pelos seguintes métodos:

- I. Secagem Natural ou com ar aquecido;
- II. Atomização;
- III. Liofilização;
- IV. Contacto com superfície quente;
- V. Evaporação;
- VI. Fumagem;
- VII. Desidratação Osmótica;

A **conservação de alimentos pela aplicação de calor** objetiva destruir os microrganismos responsáveis por deteriorar os alimentos. Decorre de uma utilização de temperaturas máximas ligeiramente acima das que possibilitam a multiplicação dos microrganismos de forma a provocar a respetiva morte ou inativação das células vegetativas. A aplicação de temperaturas elevadas constitui um dos métodos mais seguros e saudáveis para conservação de alimentos. (Lidon & Silvestre, 2008).

Porém a temperatura é um fator determinante para uma boa aplicação de calor, visto que por cada alimento ter suas características o tempo de aplicação determinará se estas serão mantidas e se os microrganismos patogénicos serão eliminados. A penetração de calor é muito mais fácil nos alimentos líquidos que nos sólidos e semissólidos. (Gava et, al., 2008).

Os principais métodos são:

- Pasteurização;
- Esterilização Comercial;
- Apertização;
- Branqueamento
- Tindalização

A **conservação de alimentos pelo uso do frio** é o método mais utilizado na área alimentar, englobando alimentos de origem animal ou vegetal. As temperaturas devem estar próximas ou abaixo de zero o que controla ou inibe a proliferação microbiológica. O uso do frio como metodologia de conservação é um processo antigo que retarda ou inibe o crescimento ativo dos alimentos.

O uso do frio no processamento de alimentos age de maneira inibitória. De modo geral, as reações químicas, enzimáticas e o crescimento microbiológico são apenas inibidos com a diminuição da temperatura. Esse tipo de processamento não melhora a qualidade dos produtos, desse modo, apenas

tecidos sadios e de qualidade devem ser refrigerados, uma vez que a temperatura baixa não destrói o patógeno, apenas diminui sua atividade (Ordoñez, 2005).

Segundo Neves Filho (1997), a utilização do frio é um instrumento de grande importância para a conservação de alimentos, remédios, produtos químicos entre outros. É praticamente um recurso natural para evitar o crescimento de microrganismos prejudiciais aos produtos, retardar reações químicas indesejáveis, manter a estrutura física inalterada, permitir o transporte a regiões distantes, garantir a higiene sanitária na manipulação de alimentos, entre outros.

A conservação pelo frio, conforme pondera Rocha (2008) abrange 4 tipos de produtos:

- Produto Fresco- Produto que não sofreu qualquer tratamento mantendo o seu estado natural;
- Produto Refrigerado: todo o produto que sofre um arrefecimento sem atingir a temperatura do seu ponto de congelação;
- Produto congelado: todo o produto cuja água de constituição fica congelada, atingindo uma temperatura de -10°C em todos os seus pontos, mantendo essa temperatura até a entrega ao consumidor;
- Produto ultracongelado: todo o produto que, depois de ultrapassar rapidamente a zona de cristalização máxima, atinge -18°C (podendo atingir -25°C , -30°C) em todos os seus pontos até a entrega ao consumidor

A Figura 8 define quais temperaturas são críticas para o aparecimento de microrganismos causadores de deterioração nos alimentos, comprometendo assim a atividade celular e ocasionando reações químicas sujeitas a perda da qualidade nos mesmos.

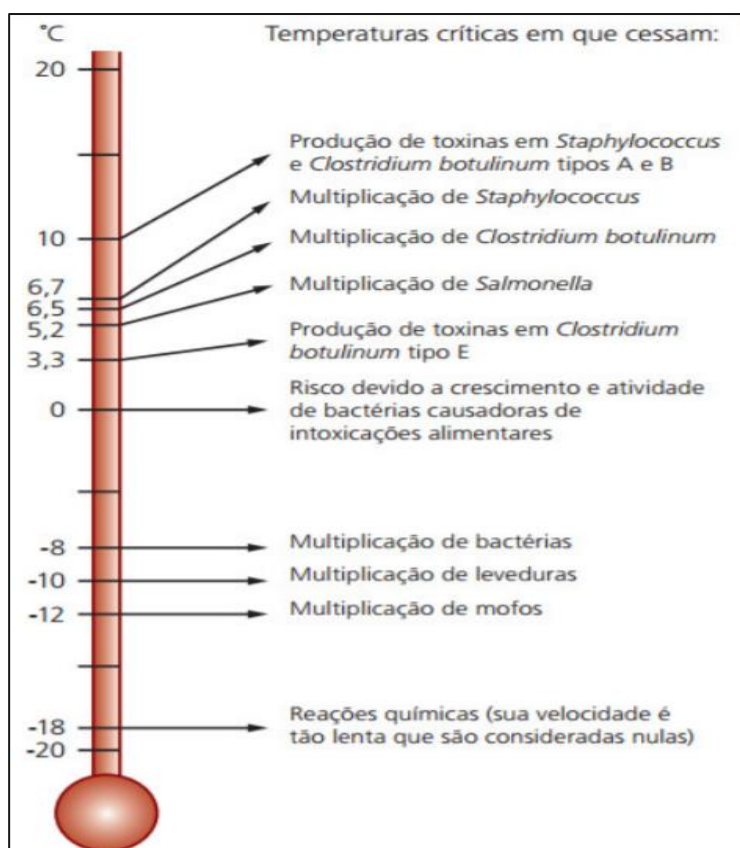


Figura 8: Temperatura versus reações **Fonte:** Rocha (2008)

Uma conservação feita para produtos refrigerados trabalha com temperaturas que ficam acima do ponto de congelação, podendo assim conservar por dias ou semanas, tendo de levar em consideração fatores como temperatura, humidade relativa do ar, luz, circulação do ar e composição da atmosfera de armazenamento. Em certos processos de conservação de alimentos, é comum combinar a refrigeração com outras operações, como a fermentação e a pasteurização.

De acordo com a Norma NP EN 1524, produto refrigerado é aquele que sofre um arrefecimento sem atingir a congelação de modo a que a sua temperatura interior seja mantida entre os 0°C e os 7°C, na generalidade.; e um congelado aquele que congela toda a água contida a uma temperatura de -10°C, e é mantido a essa temperatura até ser entregue ao consumidor. O produto ultracongelado é aquele que depois de ultrapassar rapidamente a zona de cristalização máxima, atinge -18°C (pode ir fortemente a -25, -30°C) em todos os seus pontos e até entrega ao consumidor. A Figura 9 representa a análise de temperatura e tempo em processos de refrigeração e congelação.

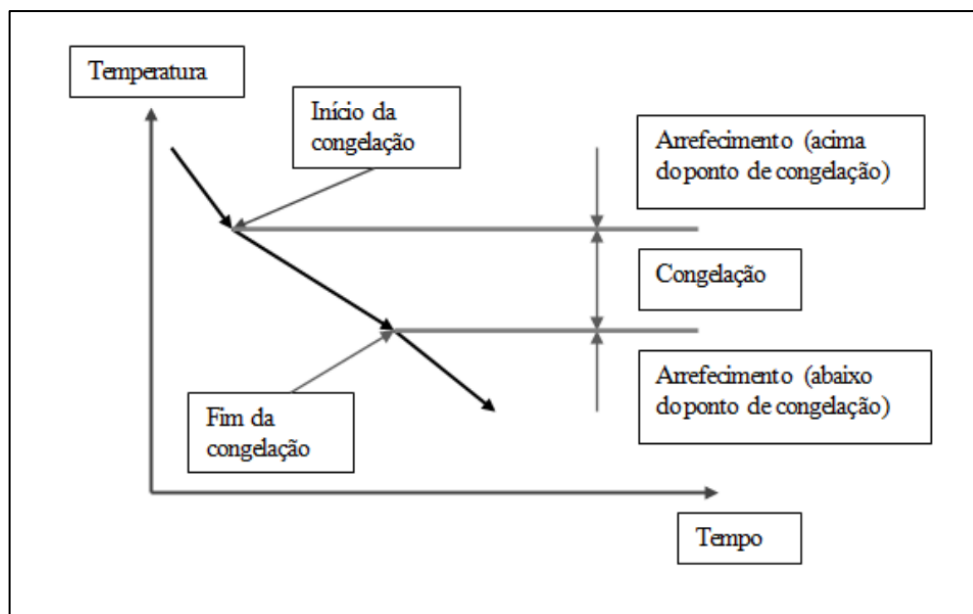


Figura 9: Refrigeração e Congelamento de alimentos **Fonte:** Çengel e Boles, (2001)

Já uma conservação realizada para produtos congelados tem temperaturas abaixo da congelação e pode durar cerca de meses ou anos. O congelamento retarda, mas não para as reações físico-químicas e bioquímicas que levam a deterioração dos alimentos, e durante o armazenamento congelado ocorre uma mudança lenta e progressiva na qualidade sensorial dos produtos alimentícios (Rahman & Ruiz, 2007).

Segundo Lidon & Silvestre (2008), a congelação transforma a quase totalidade da água da constituição dos alimentos em gelo. O processo de congelação decorre em três fases: numa primeira fase a temperatura diminui rapidamente até -1°C ; numa segunda etapa ocorre a fase de cristalização que geralmente é (entre -1°C e 5°C) e a terceira fase que a temperatura deve descer até os valores que se pretende alcançar.

Como todos os outros métodos, o frio também pode ocasionar consequências durante a conservação. Na refrigeração, principalmente no que diz respeito à frutas e hortaliças pode ocasionar a denominada lesão pelo frio o que de acordo com Fellows (2006), pode causar escurecimento interno ou externo dos alimentos, falha no amadurecimento e manchas na casca. O efeito mais significativo é o endurecimento causado pela solidificação de óleos e gorduras.

Não diferente, na conservação por congelamento, quando este se dá em um processo com um tempo maior para a cristalização, são formados grandes cristais de gelo nos espaços intercelulares, deformando e rompendo a parede celular das células adjacentes, causando a desidratação dessas (Fellows, 2006).

2.4. A importância da embalagem na conservação de frutas e verduras

Segundo as estatísticas agrícolas de 2018, Portugal atingiu um valor de vendas nas Indústrias alimentares de cerca de 11 mil milhões de euros, registando de rendimento da atividade agrícola um acréscimo de Unidade de Trabalho ano de 0.2% em termos reais. O posicionamento estrutural, relativamente ao total da indústria transformadora manteve-se, continuando a indústria alimentar a ser a principal atividade da produção industrial nacional com 14,5% do total das vendas em 2017, conforme pode ser visto na Figura 10.

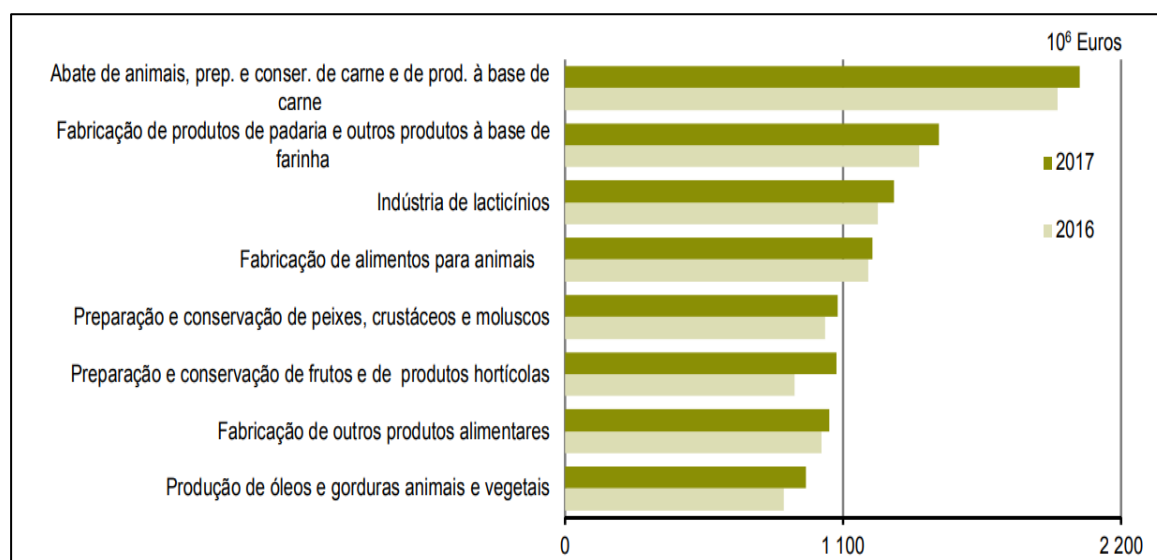


Figura 10: Valor de vendas das Indústrias Alimentares (2016-2017) **Fonte:** INEP, (2018)

A preparação e conservação de frutos e de produtos hortícolas é uma atividade da Indústria alimentar que tem considerável crescimento e que por isso precisa ser caracterizado como atividade primordial nos cuidados com esses produtos alimentares, pois a perecibilidade de um alimento está voltada para o seu tempo de vida que é o tempo em que ele permanece apto para o consumo. Quando acaba a colheita, inicia uma fase primordial para que as frutas e hortaliças cheguem ao consumidor final com a qualidade desejável, são os procedimentos de cuidado que se caracterizam por evitar que ocorra ataques de patógenos, injúrias fisiológicas e desidratação.

As frutas e hortaliças mantem-se vivas após a colheita e precisam respirar, utilizando suas reservas de energia para isso. Os processos respiratórios definem o tipo/intensidade dos principais processos fisiológicos pós colheita, determinando a respetiva longevidade, porque promovem modificações profundas nos padrões de proteínas, glícidos, lípidos, ácidos orgânicos, vitaminas, minerais e componentes da parede celular, fazendo com que a respiração seja relevante pós-colheita por estar direta e

indiretamente ligada com atividades oxidativas e fermentativas, esta característica é o que os torna altamente perecíveis. (Lidon & Silvestre, 2008).

Essa característica delimita dois grupos de frutas com propriedades diferentes após a colheita: as frutas climatéricas e as frutas não-climatéricas. Na primeira, após a formação do fruto, a atividade respiratória diminui, no final da maturação pode ocorrer um aumento da produção de dióxido de carbono e posteriormente ocorre uma queda drástica e a necrose do tecido (maçã, maracujá, pera, pêssego, nectarina, ameixa e tomate), com isso ocasiona o amadurecimento após a remoção da planta. Na segunda, após a colheita, a taxa respiratória diminui continuamente até a necrose dos tecidos (cereja, pepino, figo, uva, cítricos, morango, abacaxi, caju) não amadurecem depois da colheita, não ficam mais doces e não melhoram o sabor. (Lidon & Silvestre, 2008).

Dito isso, os tratamentos pós-colheita, deve preocupar-se em grande com os processamentos já que são facilmente perecíveis e porque os tecidos são fisicamente injuriados nas etapas de descasamento e corte, além de sofrerem outros tipos de alterações inerentes ao processamento mínimo. Para a redução da predisposição à deterioração aos produtos submetidos a esse processo, faz-se necessário o emprego de práticas tecnologicamente adequadas como armazenamento em baixas temperaturas, modificações de atmosfera e sanificação (Oetterer, 2006).

Dentro das tecnologias adequadas, a armazenagem é a etapa primordial para que esses alimentos mantenham a qualidade do ponto de vista sensorial, nutricional e de segurança. Com o armazenamento, visa-se a minimizar a intensidade do processo vital das frutas e hortaliças, por meio da utilização de condições adequadas, que permitam uma redução no metabolismo normal, sem alterar a fisiologia do produto. Dessa forma, evita-se o brotamento, a alongação, a germinação de sementes, o ataque de patógenos, as desordens fisiológicas, etc. (Chitarra e Chitarra, 2005).

Lambert e Stock (1999) e Coyle *et al.* (2003) definem a armazenagem como a parte do sistema logístico da empresa que aloca os produtos (matérias-primas, produtos em vias de fabrico e/ou produtos acabados) entre o ponto de origem e o ponto de consumo, e fornece informação para gerir o estado, as condições e disposição dos itens que estão a ser armazenados.

O que delimita a armazenagem, são as características de cada produto, principalmente a temperatura e humidade, pois estas condicionam quanto tempo cada produto mantém suas qualidades organolépticas. A temperatura e humidade são fatores totalmente relacionados com o tempo de conservação de um alimento. A temperatura ideal de armazenamento dos frutos e hortaliças é diferente para cada produto. Como muitos destes alimentos são suscetíveis a injúrias pelas baixas temperaturas, uns são mais bem armazenados a temperaturas pouco acima à de congelamento e outros, a temperaturas entre 7 e 13 °C (Bachmann; Earles, 2000).

Já a humidade está relacionada com a atividade da água. Se um ambiente possui uma humidade relativa elevada, o alimento estará desidratado, com a atividade da água baixa, ocorrendo assim uma deterioração fúngica. Por oposição, se a humidade relativa do meio é baixa e a atividade da água está elevada, ocorre uma desidratação baixa, interferindo nas características organoléticas dos alimentos. (Lidon & Silvestre, 2008). As Tabelas 2 e 3, faz comparações entre temperatura, humidade e tempo de conservação de diversos produtos frutícolas e hortícolas.

Tabela 2: Período de Conservação de Frutas e Hortícolas

Produto	Temperatura (°C)	HR (%)	Período de Conservação
Couve-Flor	0	95-98	3-4 semanas
Ervilha-verde	0	95-98	1-2 semanas
Figo fresco	-0.5 a 0	85-90	7-10 dias
Framboesa	0	90-95	1-2 semanas
Laranja	3 a 9	85-90	3-8 semanas
Lima	9 a 10	85-90	6-8 semanas
Limão	12 a 14	85-90	2-3 meses
Maçã	-1 a 4	90-95	1-12 meses
Mamão	7	85-90	1-3 semanas
Manga	13	85-90	2-3 semanas
Melão	0 a 2	95	5-14 dias
Morango	0	90-95	5-7 dias
Nectarina	-0.5 a 0	90-95	2-4 semanas
Pepino	10 a 13	95	10-14 dias
Pera	-1.5 a 0.5	90-95	2-7 meses
Pêssego	-0.5 a 0	90-95	2-4 semanas
Pimentão	9 a 13	90-95	2-3 semanas
Tomate maduro-firme	8 a 10	90-95	4-7 dias
Uva	1 a -0.5	90-95	1-6 meses

Tabela 3: Período de Conservação de frutas e hortícolas

Produto	Temperatura (°C)	UR (%)	Período de Conservação
Abacate	4,4 a 13	85-90	2-8 semanas
Abacaxi	7 a 13	85-90	2-4 semanas
Abobrinha	5 a 10	95	1-2 semanas
Aipo	0	98-100	2-3 semanas
Alcachofra	0	95-100	2-3 semanas
Alface	0	98-100	2-3 semanas
Alho	0	65-70	6-7 meses
Ameixa	-0.5 a 0	90-95	2-5 semanas
Aspargos	0 a 2	95-100	2-3 semanas
Beringela	8 a 12	90-95	1 semana
Brócolos	0	95-100	10-14 dias
Broto de Feijão	0	95-100	7-9 dias
Beterraba	0	98-100	4-6 meses
Caqui	-1	90	3-4 meses
Cebola (verde)	0	95-100	3-4 semanas
Cenoura	0	98-100	7-9 meses
Cogumelo	0	95	3-4 dias
Couve	0	95-100	10-14 dias

Fonte: Adaptado de Chitarra e Chitarra (2005)

As estratégias mais utilizadas para a conservação da qualidade desses produtos é o armazenamento em embalagens que conferem uma barreira frente aos agentes físicos e químicos para a manutenção da vida útil do alimento. A embalagem conserva e confere uma proteção passiva ou ativa aos alimentos. Porém, uma introdução desajustada de produtos alimentares no interior das embalagens pode conduzir à proliferação de microrganismos, à oxidação e hidrólise de gorduras e pigmentos, à desnaturação proteica e as reações fotoquímicas. Podem ocorrer ainda múltiplas interações com o material da

embalagem (nomeadamente, problemas associados à compatibilidade do material com o alimento, retenção ou perda de água, permeabilidade aos gases e transparência à luz. (Lidon & Silvestre, 2008).

As disposições aplicáveis no Regulamento (CE) Nº 852/2004 para o acondicionamento e embalagem dos géneros alimentícios são:

1. Os materiais de acondicionamento e embalagem não devem constituir fonte de contaminação.
2. Todo o material de acondicionamento deve ser armazenado por forma a não ficar exposto a risco de contaminação.
3. As operações de acondicionamento e embalagem devem ser executadas de forma a evitar a contaminação dos produtos. Sempre que necessário, como nomeadamente no caso de os recipientes serem caixas metálicas ou frascos de vidro, a sua integridade e limpeza têm de ser verificadas antes do enchimento.
4. Os materiais de acondicionamento e embalagem reutilizados para os géneros alimentícios devem ser fáceis de limpar e, sempre que necessário, fáceis de desinfetar.

Existe atualmente no mercado variados tipos de embalagens. Segundo Pedelhes (2005), elas podem ser classificadas em primária, secundária, terciária, quaternária e de quinto nível. A saber:

a) **Primária:** é a embalagem que está em contato com o produto, que o contém. Exemplo: vidro de pepino, caixa de leite, lata de leite condensado.

b) **Secundária:** é aquele que protege a embalagem primária. Exemplo: o fundo de papelão, com unidades de caixa de leite envolvidas num plástico. É geralmente a unidade de venda no varejo.

c) **Terciária:** São as caixas, de madeira, papelão, plástico.

d) **Quaternária:** São embalagens que facilitam a movimentação e a armazenagem, qualquer tipo de contendor. Exemplo: Container

e) **Embalagem de Quinto nível:** embalagens especiais para envio à longa distância.

Para a escolha de embalagens deve-se considerar a quantidade de produto, número de camadas e tipo de material. (Chitarra & Chitarra, 2005). Também podem ser classificadas de acordo com a sua estrutura, podendo ser de metal, vidro, papel, plástico, madeira e etc.

Características como espessuras e flexibilidade são importantes na escolha, para o material, conforme pode ser visto na Tabela 4:

Tabela 4: Resistências e tipos de embalagens

Embalagens	Metálica	Plástica	Vidro	Papel
Rígidas	Latas em folha de flandres e alumínio	Bandejas, garrafas, potes, grades e caixas	Garrafas e Frascos	Caixas de Papelão
Semirrígidas	Bandejas de alumínio	Bandejas em poliestireno expandido	-	Caixas e cartuchos em cartolina; Bandejas e alvéolos em polpa moldada
Flexíveis	Folha de alumínio; Estruturas laminadas	Filmes; Estruturas laminadas	-	Folhas de papel; Estruturas laminadas

Fonte: Poças, Selbourne & Delgado, (2006)

As embalagens podem apresentar-se de variadas formas, usando um tipo de material ou a junção de alguns deles, ela também tem a função não só de proteger, mas também para promover o produto com informações necessárias e também com funcionalidades do marketing para vendas. Atualmente, muito se tem falado sobre embalagens inteligentes que além de todas as funções já faladas anteriormente, também pode associar-se para impedir que atividades externas ocorram, controlando-as mais criteriosamente, como por exemplo a combinação de diferentes resinas poliméricas ou combinações destes materiais com folha de alumínio e/ou cartão, para a obtenção de resistência mecânica associada a propriedades de barreira a gases e aromas. Uma grande evolução tem também ocorrido para sistemas de fechamento, garantindo a segurança do produto embalado (Cabral et al., 1983; Robertson, 1993).

Vermeiren et al., 1999, também reforça a ideia de embalagens inteligentes quando afirma que esta pode ser definida como o tipo de embalagem que muda as condições do ambiente que cerca o alimento para prolongar a sua vida útil, manter as propriedades sensoriais e de segurança, enquanto conserva a qualidade do alimento.

Dito isso torna-se importante perceber quais os objetivos a serem alcançados com a concepção de uma embalagem, desde a escolha do produto a ser acondicionado até a forma que a embalagem será carregada. É essencial o conhecimento das características da matéria prima das embalagens, bem como

a forma como será utilizada. A Tabela 5 explana as principais matérias-primas, aplicações e características.

Tabela 5: Tipos de embalagens, uso e características

Matéria-prima	Embalagens	Aplicações	Características da matéria-prima
Vidro	Garrafas Potes Copos	Cervejas, vinhos, destilados, bebidas finas, conservas, geleias, café solúvel, Requeijão, extrato de tomate	-Totalmente impermeável, desde que associado a um sistema de fechamento adequado. -Possibilidade de reutilização para o mesmo fim a que foi destinada primeiramente.
Papel e papelão (celulose)	Cartão (semirrígido) Cartuchos cartonados caixas Sacos Papelão e Papelão micro ondulado Papel	Farinhas “flakes”, hambúrgueres Bombons Leite, sucos, bebidas lácteas Frutas, embalagens de transporte Farinha de trigo, semente, rações	-Não são inertes à migração de compostos da embalagem para o alimento. -Pode ser utilizado em composição multicamada.
Metal	Alumínio Latas Selos Folha de flandres	Cervejas, refrigerantes Tampas aluminadas de iogurte e água mineral Conservas, leite em pó, azeite	- Suportam elevadas temperaturas e pressões. -Podem sofrer corrosão e permitir a migração de constituintes para os alimentos nela contidos
Plástico	Plásticos Rígidos Potes Garrafas Sacos Flow Packs	Achocolatados; sorvetes; refrigerantes; sucos; café; açúcar; arroz; macarrão; salgadinhos; biscoitos; balas; bombons	-Baixo custo, leveza; flexibilidade; possibilidade de reciclagem; - Sensíveis à oxidação e a elevadas temperaturas. - Apresentam permeabilidade a gases, vapor de água e aromas. -Possibilidade da ocorrência de migração dos constituintes do material para os alimentos.

Fonte: Adaptado de Mestriner (2002)

As embalagens de celulose, que englobam o papel, papelão e derivados, são convenientes para a aplicação em contato direto com alimentos, isso se deve à resistência desse material quando entra em contato com a humidade, isso se deve à resistência mecânica do papel que não depende somente do tamanho e da resistência individual de cada fibra, mas também do modo como elas estão dispostas. A qualidade do papel, por sua vez, é consequência da natureza das fibras, pois estas variam conforme o vegetal que lhes deu origem, com diferenças entre si quanto a forma estrutural, tamanho e pureza (Neuza, 2013).

Segundo a Associação da Indústria Papeleira, 2019, Portugal manteve-se como o 3º maior produtor europeu de pasta, com 7,2% de quota de mercado, apenas atrás da Suécia e da Finlândia, e à frente da Alemanha. O País é também o 3º maior produtor europeu de pastas químicas, com 9,7% da produção deste tipo de pastas. No que diz respeito à produção de papel e cartão não revestido (UWF), Portugal é o 2º maior produtor europeu de papel e cartão não revestido (UWF), com 17,9% da produção total deste tipo de papel e cartão e o 11º maior produtor europeu de papel e cartão, com 2,5% do total.

A matéria-prima das embalagens celulósicas advém de um produto intermediário denominado de pasta. Existem diversos tipos de pastas, sendo a pasta semi-química a responsável pela produção que envolve um tratamento mecânico e um refinamento para a produção de folhas “*fluting*” para produção de cartão canelado, que de acordo com a Celpa, 2019, representa 19,7% conforme pode ser visto na Figura 11.

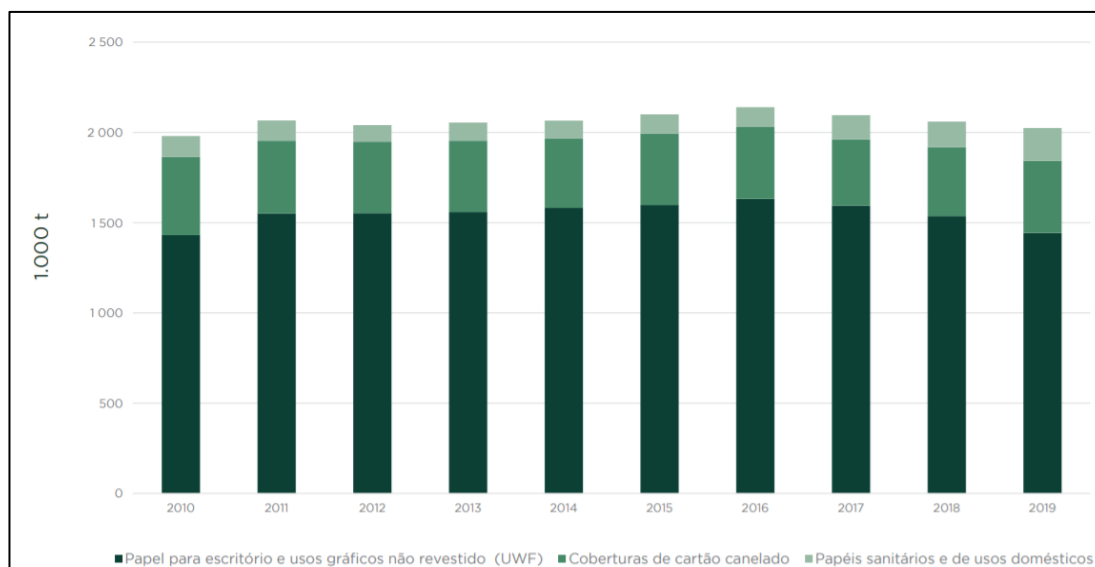


Figura 11: Produção de papel e cartão em 2019 **Fonte:** Celpa, (2019)

Neuza (2013), afirma que a distinção entre papel e cartão nem sempre é muito clara, no entanto, é do senso comum que o cartão é mais espesso e mais pesado que o papel. Geralmente, as folhas

com mais de 300 µm de espessura são classificadas como cartão. A gramagem do cartão em geral varia entre 120 e 700 g/m². Normalmente os cartões são compostos por uma combinação de duas ou mais camadas que podem diferir conforme a pasta.

De acordo com a Federação Europeia dos Fabricantes de papel ondulado, existe três características que devem ser levadas em consideração no momento de escolha de uma embalagem celulósica: **a estrutura**, onde se deve realizar ensaios de gramatura e espessura; Especificações relativas **à humidade**, onde se realiza ensaios de absorção de água e percentagem de humidade e **mecânicas** com ensaios de resistência à rutura; compressão vertical em coluna; compressão plana; perfuração dinâmica; resistência à compressão de caixas.

O projeto da embalagem deve está de acordo com as dimensões, peso, forma e tipo do produto que será acondicionado. Outro fator importante é o contato entre a embalagem e o alimento, que deve assegurar as condições de qualidade alimentar e toxicidade, devendo sempre utilizar materiais livres de substâncias nocivas e resistentes aos danos internos e externos. Para a escolha de embalagens para armazenamento de produtos frescos e congelados, deve-se levar em consideração aspetos como barrar gases como o oxigénio, dióxido de carbono, vapor de água, e a luz (Baptista & Noronha, 2003).

Nesse ínterim, para a conceção de embalagens que assegurem as exigências da indústria e do consumidor, é necessário escolher o material que mais se adeque ao produto, como por exemplo a celulose é um dos mais utilizados para as frutas e hortaliças, por proteger e manter as propriedades nutricionais e de segurança para a entrega ao consumidor. É importante que se desenvolva estudos para embalagens ativas que proporcione menos gasto energético sem acarretar em percalços para a qualidade durante o armazenamento e transporte, levando em consideração, como propõe Baptista & Noronha, (2003), proporcionar mais versatilidade de formas e materiais; adotar símbolos como referências; fortalecer a tríade de produto/marca/embalagem e mais planejamento em menos tempo.

2.5. Materiais de Mudança de Fase

No contexto da abordagem de temas relacionados com energia, combustíveis, desperdícios energéticos e principalmente a libertação de dióxido de carbono em quantidades cada vez mais crescente resultando no agravante do aquecimento global, tem surgido grandes pesquisas voltadas para a energia proveniente de fontes renováveis, principalmente para aplicações industriais e no setor de transportes, já que estes são responsáveis por grande parte da utilização de energia gerada por combustíveis fósseis.

A energia pode ser proveniente de várias fontes e podem ser renováveis e não renováveis. A seguir, explana-se variadas fontes de energia, todas elas com características intrínsecas ligadas ao potencial de produção, de acordo com Moreira (2018), algumas delas são:

1. **Energia Solar**- Em condições de céu limpo, a radiação solar emitida pelo sol e disponível para aproveitamento na superfície terrestre tem uma intensidade máxima aproximadamente igual a 1000 W/m^2 . Esta intensidade é suficiente para satisfazer as necessidades térmicas de aplicações a baixa temperatura. Para aplicações a temperaturas mais elevadas, a radiação solar necessita de ser concentrada com recursos a refletores.

2. **Energia Eólica**- Muito abundante na natureza, o vento pode ser captado por aerogeradores onde este capta energia devido à força motriz, sendo a quantidade de energia dependente da densidade do ar; velocidade do vento e área de rotação.

3. **Energia Hídrica**- Originária da força da água, simploriamente falando. Atualmente, a produção de eletricidade é a principal alternativa à utilização de combustíveis fósseis. Sua produção permitiu a ampliação da disponibilidade de eletricidade em muitas regiões. Pela utilização de uma fonte renovável, a água, a eletricidade se aproxima das discussões internacionais sobre sustentabilidade. (Rebollar, 2014).

4. **Energia Geotérmica**- O calor proveniente do manto da Terra aquece reservatórios de água subterrâneos cuja água pode ser utilizada como fluido de trabalho. As explorações deste tipo de energia situam-se geralmente perto de placas tectónicas uma vez que noutros locais seria necessário efetuar perfurações na crosta, o que é dispendioso.

5. **Combustíveis Fósseis**- As centrais elétricas produzem Energia Elétrica a partir do calor gerado pela queima de combustíveis fósseis, que aquece um fluido que segue um ciclo de trabalho. É a forma mais comum de obter energia elétrica e mais amplamente utilizada no planeta, sendo também a que polui mais

6. **Nuclear**- As centrais nucleares geram Energia Elétrica através do calor gerado pelas fissões nucleares que ocorrem no núcleo do reator. O calor produzido é transferido para um fluido de trabalho, geralmente água, produzindo vapor por um ciclo de Rankine.

7. **Recuperação de calor Industrial residual** - O excesso de calor gerado nas diversas indústrias de produção de bens é geralmente rejeitado para o ambiente. Para recuperar o calor industrial, as tecnologias implementadas podem ser subdivididas em duas categorias: ativas e passivas.

8. **Biomassa**- Exemplos de biomassa incluem resíduos florestais, resíduos municipais e biogás produzido por pecuária para queima. As centrais de queima permitem ajuste de carga durante os picos de consumo.

Estas técnicas que estão sendo desenvolvidas, prometem uma estabilidade no fornecimento de energia, que com a gestão do sistema pode reduzir o custo da energia; obter mais qualidade no fornecimento; redução das flutuações nos sistemas de energia; redução da utilização de combustíveis; estabilização do sistema e principalmente benefícios ambientais com redução de gases poluentes e melhora do aproveitamento energético de forma sustentável.

A preocupação central do armazenamento de energia é a necessidade de estocar energia em excesso que seria desperdiçada, além de preencher o desequilíbrio entre a geração e consumo da energia disponível (Agyenim et al., 2010). Existem diversas técnicas de armazenamento que estão sendo estudadas e mesmo que ainda de forma superficial, podem ser vistas na Figura 12.

Método de armazenamento de Energia	Armazenamento de Energia mecânica	Bombagem hidroelétrica Ar comprimido Volantes de Inércia
	Armazenamento Biológico	
	Armazenamento Magnético	Condensadores Energia de campos magnéticos
	Armazenamento de Energia Térmica	Calor Sensível Calor Latente
	Armazenamento de Energia Química	Baterias eletroquímicas

Figura 12: Classificação dos métodos de Armazenamento de Energia **Fonte:** Dinçer e Rosen,(2011)

Com base no armazenamento de Energia Térmica (*Thermal Energy Storage*) sabe-se que esta tecnologia é capaz de guardar energia oriunda de uma fonte de calor ou frio durante um determinado período e que será utilizada posteriormente. Muitos estudos evidenciaram que esse tipo de armazenagem se torna vantajoso em aplicações que a energia seja oriunda de fontes de calor, bem como de calor desperdiçado em processos industriais, que conforme mencionado por Mendes (2009), pode ser dividida em dois tipos de mecanismos de troca de calor. São eles:

- **Calor Sensível**- energia térmica reservada através do aumento da temperatura de um sólido ou líquido, isto é, quando um determinado objeto sofre aquecimento, a sua temperatura aumenta à medida que lhe é fornecido mais calor, dependendo do calor específico do material. A quantidade de calor armazenada é descrita pela Eq.(1.1) a seguir:

$$Q = \int_{T_i}^{T_f} mC_p dT = mC_{ap}(T_f - T_i) \quad (1.1)$$

onde Q é a quantidade de energia armazenada [J], m é a massa do material [kg], T_i e T_f são as temperaturas inicial e final respetivamente [°C] e C_{ap} é o calor específico do material em relação as temperaturas T_i e T_f [J/kgK]. (Sharma et al., 2009)

- **Calor Latente** - baseia-se no calor que é armazenado ou libertado durante as mudanças de fase do material, como por exemplo de sólido para líquido e de líquido para sólido. A quantidade de energia armazenada em um sistema de calor latente utilizando-se os materiais de mudança de fase é descrita pela Eq.(1.2) a seguir:

$$Q = \int_{T_i}^{T_m} mC_{sp} dT + ma_m\Delta H + \int_{T_i}^{T_f} mC_{lp} dT \quad (1.2)$$

onde T_m é a temperatura de fusão do material [°C], a_m é a fração do material que está derretida e ΔH é calor latente de fusão do material [J/kg]. (Sharma et al., 2009)

As principais diferenças entre os dois tipos de armazenamento é que no caso de armazenamento de energia com base no calor sensível, a energia depositada é proporcional à temperatura do material, enquanto que a energia conservada na forma de calor latente está associada a mudanças de fase que ocorrem no material, sem alteração significativa de temperatura (Vitorino, 2009). Uma importante característica do calor latente é que ele envolve a transferência de grandes pacotes de energia comparada com a transferência de calor sensível. O efeito de um PCM pode ser ilustrado através do material de um PCM natural: a água. Por exemplo, 1 kg de água necessita de 4,2 kJ de calor sensível para reduzir sua temperatura em 1°C, assim, para reduzir a temperatura da água a partir de seu ponto de ebulição (100°C) até (0°C) requer 420 kJ de energia. Porém para completar o congelamento da água a 0°C, mais 330kJ de energia (conhecida como a energia do calor latente) precisa ser removida (Ghosh, 2006).

Outro ponto importante é que no calor específico há a necessidade de instalações de grandes dimensões, já no calor latente, com a aplicação de Materiais de Mudança de Fase proporcionam uma solução onde se utiliza instalações de menores dimensões e conforma um maior rendimento de armazenamento de energia, podendo ser integrado em muitos setores industriais. Uma importante característica do calor latente é que ele envolve a transferência de grandes pacotes de energia comparada com a transferência de calor sensível. A Figura 13, descreve os tipos de armazenagem de energia térmica.

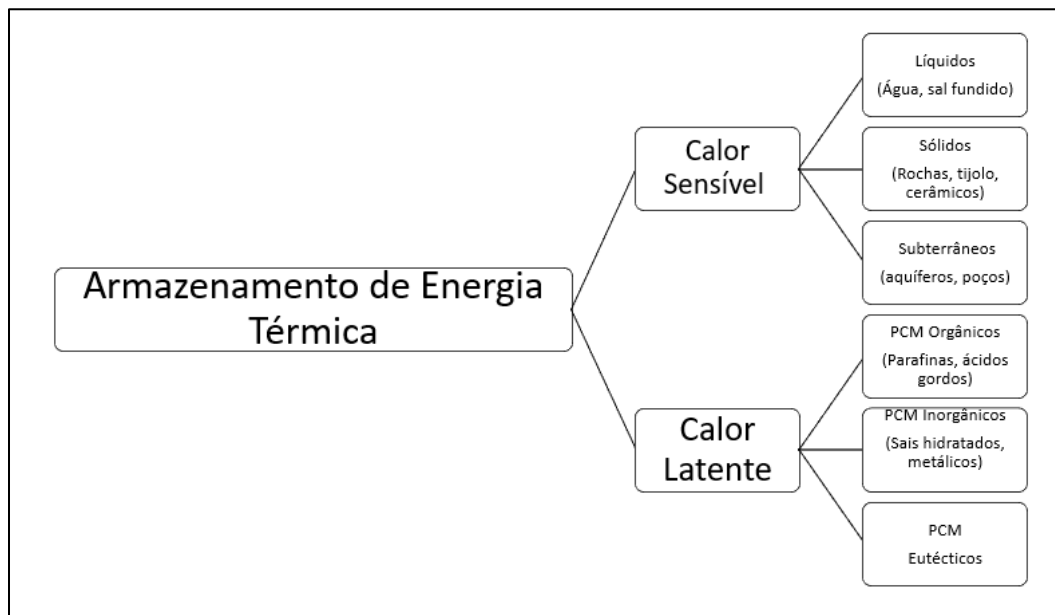


Figura 13: Tipos de Armazenamento de Energia Térmica **Fonte:** Ghosh, (2006)

Sendo o tema de estudo do presente trabalho a armazenagem por meio do calor latente, é importante ressaltar a compreensão do conceito de fusão e solidificação. O primeiro caracteriza-se por um processo de mudança do estado sólido para o líquido, caso ocorra o processo contrário denomina-se de solidificação. E o segundo tem como principal ação o processo de mudança do estado líquido para o gasoso, o processo contrário denomina-se condensação. Independente do processo, em cada um deles está integrada uma quantidade de energia que é gerada e denominada de entalpia, ou calor latente.

O armazenamento de energia térmica pelo calor latente, permite a utilização de materiais de mudança de fase, do inglês *Phase Change Materials*, (PCM's). Estes possuem a capacidade de alterar o estado de acordo com a temperatura ambiente. Eles também podem ser chamados de materiais inteligentes ou funcionais e integram uma cadeia de materiais Termo ativos, isto porque possuem um elevador calor de fusão, libertando energia a uma temperatura constante no período de mudança de fase. De acordo com Huang et al. (2010), o material de mudança de fase é uma substância com alto calor de fusão

atrelado as mudanças de estado físico sólido para líquido e vice-versa, capaz de armazenar ou liberar altas quantidades de energia latente em certas temperaturas.

A Figura 14 representa um processo transitório de fusão e um processo inverso de solidificação correspondendo ao comportamento de um PCM para armazenamento de calor em razão das quantidades de calor acumulado e as mudanças de volume diretamente relacionadas à faixa de temperatura. No intervalo destacado na Figura 14, observa-se o Ponto de Fusão, onde a temperatura se mantém constante até chegar ao estado líquido em determinada quantidade de tempo, do ponto D ao E.

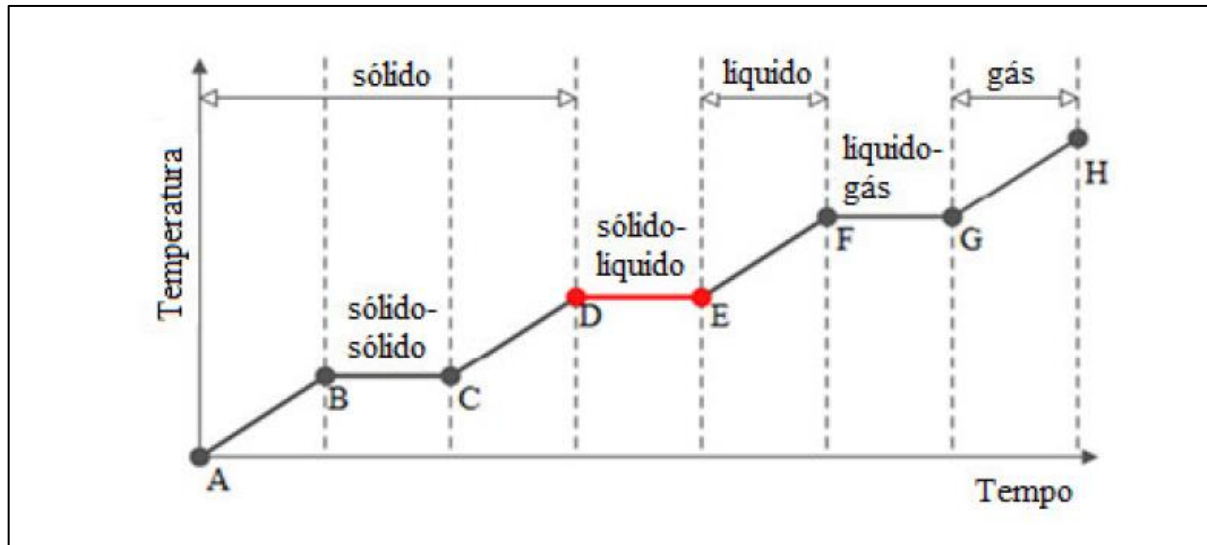


Figura 14: Relação entre tempo e temperatura no aquecimento de uma substância **Fonte:** Huang et al. (2010)

Os Materiais de Mudança de fase, se comportam de maneira similar aos demais materiais, sua temperatura aumenta à medida que o material absorve calor. No entanto, eles absorvem e liberam calor a uma temperatura constante, podendo absorver de 5 a 14 vezes mais calor por unidade de volume que um material convencional (Sharma et al., 2009).

Na Figura 15 é evidenciado o comportamento de um Material de Mudança de Fase, onde percebe-se que as transformações oriundas do modelo Sólido-líquido além de necessitarem de menos volume para acontecerem e calor latente mais baixo, o que as tornam mais atrativas em termos económicos.

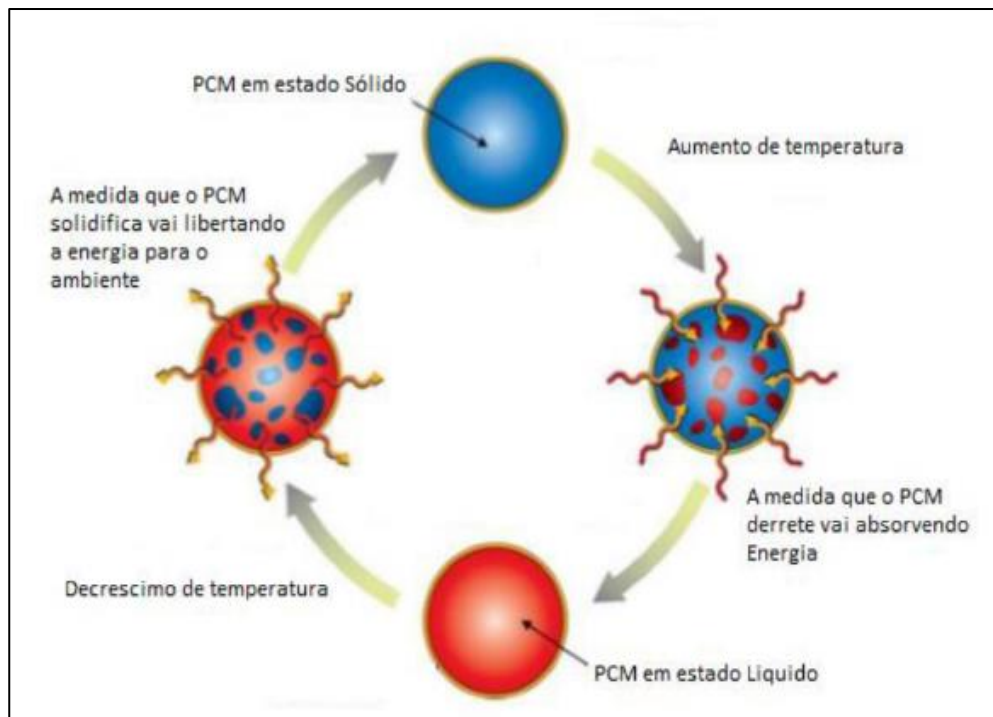


Figura 15: Funcionamento de Pcm Sólido-Líquido **Fonte:** Ticsay, (2014)

Segundo Zalba et al. (2003) o critério de seleção de um PCM adequado para sua aplicação segue as seguintes recomendações:

- Possuir ponto de fusão adequado a temperatura de operação do sistema;
- Possuir um elevado calor latente de fusão por unidade de massa, para que uma pequena quantidade de material possa absorver grande quantidade de energia;
- Baixo calor específico, para se obter uma mudança de temperatura rápida do sistema;
- Alta condutividade térmica, para o gradiente de temperatura nas fases de carga e descarga ser o menor possível;
- Pequenas mudanças de volume durante as mudanças de fase, o que acarreta em uma geometria de encapsulamento mais simples;
- Possuir nenhum ou pouco nível de subresfriamento, além de um derretimento congruente;
- Possuir estabilidade química, para que não ocorra corrosão e nem interação com os materiais do encapsulamento;
- Disponibilidade do material a um baixo custo.

A depender da mudança de fase, os PCM's podem ser subdivididos e isto está atrelado ao objetivo pretendente com o armazenamento de energia, onde se busca sempre a otimização dos processos e menores custos de armazenagem. São eles:

- sólido-sólido;

- líquido-gás
- sólido-líquido

O tipo de PCM, Sólido-líquido, é o mais utilizada no sistema TES (*Thermal Energy Storage*). Características muito importantes das matérias de mudança de fase é o baixo custo e a grande disponibilidade por tornarem os sistemas mais atrativos para os proprietários e possibilitarem a obtenção da substância aquando da instalação inicial e sempre que for necessária à sua substituição, respetivamente. Outra particularidade relevante requerida aos materiais de mudança de fase é uma vida útil longa, pois apresentam pouca ou nenhuma degradação após um grande número de ciclos de fusão. (Costa, 2014).

A temperatura de transição e a temperatura do ambiente exterior devem ser proporcionalmente adequadas, para o correto funcionamento de um PCM, pois se houver falha nessa adequação. O material de mudança de fase não trará benefício algum para o sistema.

As principais propriedades dos PCM's são apresentadas conforme explanado por Mendes, 2009 na Tabela 6:

Tabela 6: Propriedades dos Materiais de Mudança de Fase

Propriedades	Características
Propriedades Térmicas	Condutividade térmica elevada em ambas as fases, líquido e sólido; alta variação da entalpia perto da temperatura de utilização; temperatura de fusão/ solidificação próxima da temperatura de conforto; calor latente elevado para a temperatura desejada.
Propriedades Físicas	Baixa variação de densidade; elevada densidade; alteração de volume de mudança de fase reduzida; mudança de fase uniforme na passagem de fase sólido/líquida e vice versa; não sofre subarrefecimento.
Propriedades Químicas	Estabilidade química; não há separação de fases; reversibilidade na passagem de sólido/líquido e de líquido/sólido; não tóxico; não inflamável e não poluente; duráveis- não apresentam degradação ao fim de vários ciclos de utilização; compatibilidade com os materiais de construção.
Propriedades Económicas	Abundante e de baixo custo.

Fonte: Mendes, (2009)

Propriedades importantes que definem as características de qualquer PCM são o calor latente de fusão e a temperatura de fusão. Outras propriedades tais como densidade, comportamento de fusão e super-resfriamento também precisam ser levadas em consideração. (Mendes, 2009). O agrupamento mais amplo dos PCM's é dividi-los em três categorias: orgânicos, inorgânicos e eutéticos.

Portanto, utilizar a técnica de armazenamento de calor latente é uma técnica eficaz para a manutenção da temperatura em embalagens de frutas e verduras, já que auxilia positivamente na alta densidade de armazenamento de energia, sendo capaz de armazenar calor na forma de calor latente de fusão, em temperatura constante a mesma para a temperatura de transição dos PCM's.

2.5.1. Tipos de PCM's

Historicamente, o material mais tradicional utilizado como PCM é a água-/gelo. Entretanto, atualmente, existem diversos tipos de materiais orgânicos, inorgânicos e soluções eutéticas sendo utilizados, com diferentes faixas de temperatura e entalpia de fusão (Kousksou *et al.*, 2014). Estes materiais estão constituídos na categoria sólido-líquida, conforme pode ser visto na Figura 16.

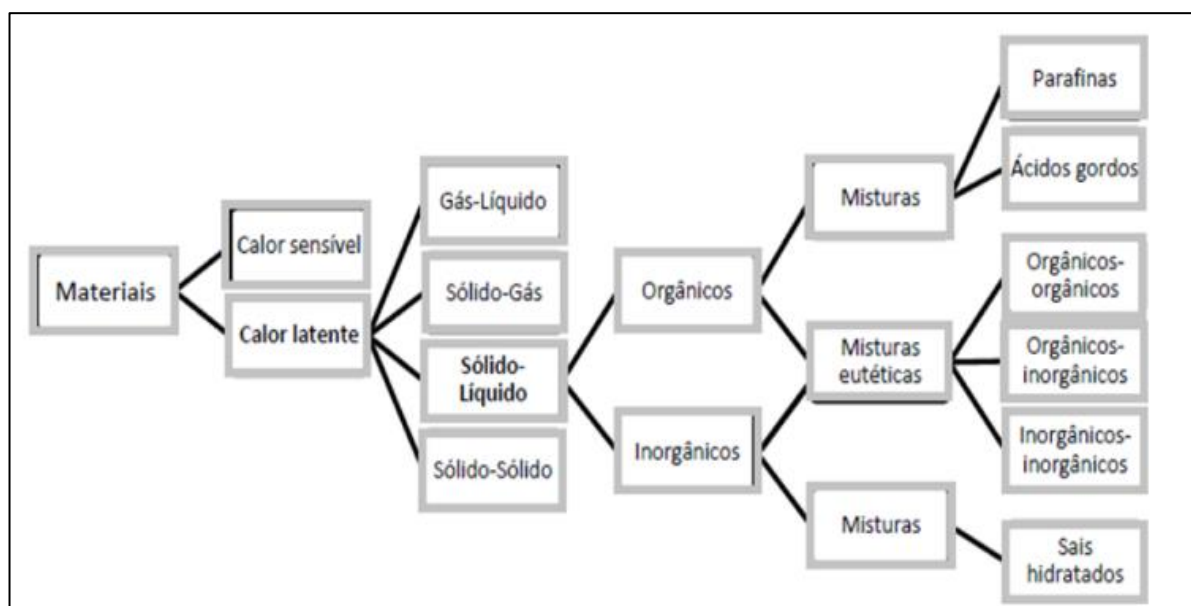


Figura 16: Classificação dos PCM's **Fonte:** Adaptado de Moreira, (2018)

Os Pcm's de origem **orgânica**, como por exemplo as ceras e as parafinas têm como método de obtenção a refinação do crude ou obtidos sinteticamente (Sá, 2015). Neste caso as parafinas são mais utilizadas, pois apresentam um maior número de características desejáveis, como temperatura de mudança de fase numa vasta gama de temperaturas de conforto humano, elevado calor latente de fusão,

subarrefecimento insignificante, baixa pressão de vapor na fusão, quimicamente inertes e estáveis, autonucleantes, não ocorrendo segregação de fases e encontrando-se comercialmente disponíveis apresentando um baixo custo. (Moreira, 2018). E os ésteres de sais gordos que apresentam uma temperatura de fusão na ordem dos 20 a 30°C e também possuem ponto de fusão e solidificação estável, sem ser colocado em subarrefecimento. (Smith, 2009).

As parafinas puras contem geralmente entre 14 e 40 átomos de carbono enquanto as ceras parafínicas contem geralmente entre 8 e 15 átomos de carbono. (Sá,2015). Sua estrutura pode ser vista na Figura 17. É importante salientar que as parafinas possuem comportamento sem toxicidade nem corrosão e apresenta uma pequena alteração de volume quando submetida à mudança de fase.

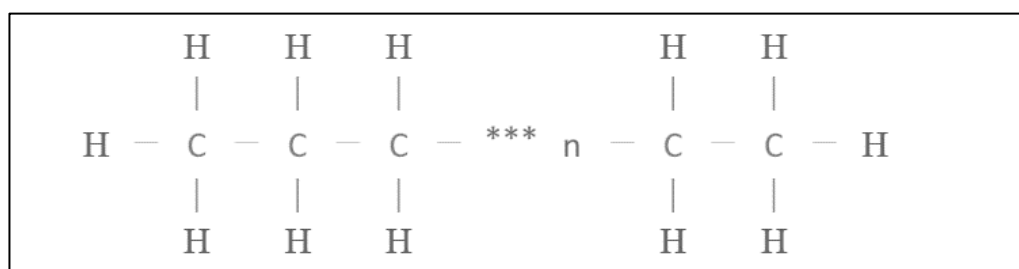


Figura 17: Estrutura de uma parafina **Fonte:** Monteiro,(2005)

Os PCM's de origem **inorgânica**, tem os sais hidratados como sendo o conjunto mais evidenciado e investigado dentre o seu contexto. O que faz isso acontecer é devido à pequena variação de volume na fusão, condutividade térmica relativamente alta (0,5 W/m°C)- praticamente o dobro da condutividade das parafinas, elevado calor latente custo moderado quando comparados com as ceras parafínicas. (Smith, 2009). Existem três diferentes comportamentos de fusão: fusão congruente onde, dada uma temperatura de fusão específica, o sal em sua forma anidra é completamente solúvel em água e não há separação de fases. Derretimento incongruente: é dado quando o sal em sua forma anidra não é completamente solúvel em água, resultando em extensa separação de fases. O derretimento semi-congruentes apresenta um comportamento intermediário entre congruente e incongruente derretimento. (Sá, 2015). Diferente das parafinas, os sais apresentam características tóxicas.

Nos PCM's de misturas **Eutéticas**, nada mais é do que a mistura de dois ou mais elementos que se fundem e solidificam de modo congruente, formando uma mistura de cristais do componente durante a cristalização, podendo ter compostos do tipo orgânico-orgânico, orgânico-inorgânico e inorgânico-inorgânico (Gonçalves,2009). A principal desvantagem de se ter uma mistura eutética, é o elevado custo, chegando a ser 3 vezes mais elevado do que os outros dois já mencionados.

No quadro a seguir, apresenta-se as características que definem os materiais de mudança de fase, caracterizando as misturas orgânicas, inorgânicas e eutéticas, principalmente no que diz respeito

às vantagens e desvantagens. Segundo Sarier e Onder, 2007, os PCM's mais comuns possuem cadeia linear de hidrocarbonetos conhecidos como ceras parafínicas (ou n-alcenos), sais hidratados, polietileno-glicóis (PEGs), ácidos graxos e as misturas eutéticas de compostos orgânicos e inorgânicos.

Tabela 7: Vantagens e desvantagens dos PCM's

Materiais	Vantagens	Desvantagens
Misturas Orgânicas	Estabilidade química, recicláveis	Alteração de Volume
	Elevada Entalpia de Fusão	Inflamável
	Boa compatibilidade com outros materiais	Baixa Condutibilidade térmica ($\lambda \approx 0,2 \text{ W/(m.K)}$)
	Existentes numa vasta gama de temperatura de fusão	
	Baixo ou nenhum sobrearrefecimento	
Misturas Inorgânicas	Reduzida variação de volume	Corrosão
	Baixo Custo	Sobrearrefecimento
	Entalpia de fusão elevada	
	Melhor condutibilidade térmica ($\lambda \approx 0,5 \text{ W/(m.K)}$)	
Misturas Eutéticas	Entalpia de Fusão elevada	Falta de informação disponível
	Temperatura de fusão bem definida	Custo Elevado
	Elevada capacidade de armazenamento de calor	

Existem técnicas para utilizar os PCM's de forma a explorar todos os aspetos positivos do sistema fazendo com que a aplicação apresente mais vantagens do que desvantagens. As técnicas podem ser por incorporação direta, imersão e encapsulamento, este último subdividindo-se em micro e macro encapsulamento.

A **incorporação direta**, conforme afirma Zhou et al, 2012, é comparativamente o método mais simples onde o material de mudança de fase é adicionado diretamente aos outros materiais até a formação de um novo produto. Apesar de não necessitar de nenhum equipamento extra, as perdas de materiais nessa técnica são valiosas e com isso torna a aplicação dispendiosa.

Na técnica de **imersão**, como o próprio nome já relata, surge por uma imersão de um material em um material de mudança de fase fundido, acarretando em uma absorção pelos poros internos. Uma desvantagem é que para utilizações de longo prazo, a sua eficiência ainda não foi garantida.

Tratando-se do **encapsulamento** nota-se que a característica primordial da técnica é evitar o contacto com outros materiais, impedindo que eles interajam de alguma forma. Essa técnica pode ser utilizada na construção civil onde se pretende evitar que o PCM tenha contacto com materiais corrosivos como o cimento. Outra área importante é a farmacêutica, evitando contactos com os materiais a serem transportados e utilizando os PCM para manter a temperatura de transporte de produtos sensíveis à mudança de temperatura, por exemplo.

Para além disso, a superfície do encapsulamento atua como uma superfície para a transferência de calor. Em alguns casos, o encapsulamento atua também como um elemento construtivo aumentando desse modo a estabilidade mecânica (Waschull,2007). O tipo de encapsulamento pode ser dividido em duas partes: macro e micro encapsulamento. Este tipo de partículas são comumente de forma esférica, com diâmetros a variar entre 1 e 1000 μm . Estas partículas são de um composto líquido ou sólido, intitulado de núcleo, envolvidos por um material sólido, geralmente um polímero designado de cápsula. (Silva,2009).

O **macro encapsulamento** consiste na adição do PCM em algum recipiente, na maioria das vezes cilíndrico ou esférico, dispostos em bolsas, caixas, garrafas, conforme pode ser visto na Figura 18. O principal inconveniente na utilização do macro encapsulamento é o modo de adaptar os sistemas de construção à presença deste tipo de materiais. Quando ocorre um grande volume de contenção não se tratava de uma solução viável, devido à reduzida condutividade térmica da maior parte dos PCM (Nunes, 2011).



Figura 18: PCM macro encapsulado **Fonte:** Castel, (2010)

O **micro encapsulamento** é uma junção dos materiais, porém em uma forma de envolvimento de partículas com pequenas dimensões em microcápsulas de tamanhos nanométricos (1 a 1000 μm),

essas cápsulas tem um núcleo de PCM e pode ser cercada por um plástico, ocorrendo uma mudança de fase invisível para o usuário. Praticamente todo PCM pode ser micro encapsulado. Na maioria das vezes utiliza-se polímeros, o mais comum deles é o poliuretano. Relativamente à cápsula, esta tem como função manter o material encapsulado (PCM) de maneira a preservar as mesmas características, conservando uma interação entre o meio envolvente, não envolvendo troca de matéria, mas sim de energia (Tristão, 2014).

Para além de conter a fase líquida do PCM, a microencapsulação permite melhorar a transferência de calor, devido ao elevado rácio da sua superfície para o volume das cápsulas e, melhora a estabilidade cíclica porque o PCM fica restrito a uma escala microscópica. Em adição, permite a integração de PCM micro encapsulados noutros materiais. Um dos aspetos negativos do micro encapsulamento é que a possibilidade de subarrefecimento aumenta (Teixeira, 2019).

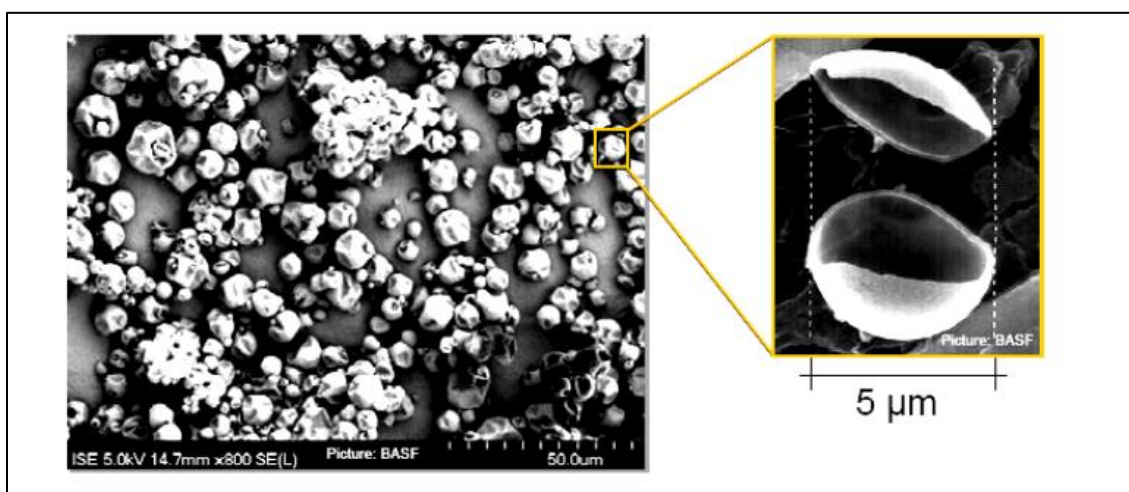


Figura 19: Imagem de um microscópio de um PCM micro encapsulado **Fonte:** (Schmidt, 2010)

2.5.2. Aplicações dos PCM's

A aplicação comercial vem sendo estudada fortemente nos últimos anos, devido a capacidade de respostas positivas que os PCM's vem cumprindo em cada estudo. As aplicações são diversas tais como na indústria alimentar, presente na conservação dos alimentos; na indústria automobilística, usado no arrefecimento de motores; na indústria têxtil, através de incorporação de microcápsulas em vestuário; na indústria da construção, em materiais e componentes da construção com a finalidade de controlar as amplitudes térmicas de espaços interiores; na área medicinal, entre outras. (Mondal, 2008).

Conforme ressalta Dincer e Rosen (2002) as aplicações de PCM's dividem-se em dois grupos proteção térmica ou de inércia e de armazenamento. Uma diferença entre estes dois grupos refere-se à condutibilidade térmica da substância utilizada. Em alguns casos de proteção térmica, e adequado ter baixos valores de condutibilidade, enquanto que em sistemas de armazenamento, poderá haver energia

armazenada em quantidade suficiente, mas a capacidade de dispor dessa energia com a rapidez necessária poderá ser insuficiente.

As vantagens são imensas para o acúmulo de calor, podendo ser extraído tanto o calor quanto o frio do meio em que circula e realizar com isso o seu armazenamento. Dentro dessa concepção de energia térmica e temperatura fixa, as variadas aplicações surgem, como por exemplo:

- Armazenamento climático para ar condicionado ambiente;
- Tanque de armazenamento de ar condicionado para reduzir picos de carga;
- Tanque amortecedor para tecnologia solar, de combustível sólido e de calor residual;
- Tanque de armazenagem tampão na tecnologia de aquecimento;
- controle passivo da temperatura na área de transporte

Durante a escolha do PCM adequado para onde se pretende aplicar, é importante ter em mente alguns fatores importantes durante esse processo. São eles:

- Faixa de temperatura para a aplicação (Temperatura de fusão do PCM)
- Tipo PCM (orgânico / inorgânico), dependendo das diferentes propriedades
- Classe do produto (PCM puro, encapsulado ou encadernado), dependendo da inserção do PCM.

Muitos estudos tem dado atenção para a aplicação de PCM na Construção Civil, relacionando o uso com a eficiência energética já que a maioria dos recursos energéticos utilizados são de fontes renováveis, e por ter de utilizar em grande escala, ocasiona em um elevado impacto ambiental. A utilização de materiais de mudança de fase no setor da construção promove assim melhorias consideráveis ao nível social, pois permite equilíbrios térmicos e maior conforto as pessoas, ao nível ambiental já que pode reduzir a necessidade de recorrer a sistemas com base em fontes de energia não renováveis e ao nível económico porque diminui os custos energéticos (Sá,2015).

2.5.3. PCM's na Agroindústria

A agroindústria está presente em todo o mundo como um setor da economia crescente que gera muitos empregos e lucratividade, mas que também consome muita energia, no que concerne ao transporte de produtos, produção de alimentos e nas tecnologias para a sua transformação. Por esses motivos é que se torna importante a análise de matérias de armazenamento de energia que tornem próprio a lucratividade levando em conta o dispêndio de energia.

Os materiais de mudança de fase podem ser usados na Agroindústria armazenando energia e utilizando em várias etapas do processo, desde a concepção de plantios e colheita (como por exemplo a

utilização de energia em estufas) até na produção de produtos, como na logística otimizando assim o uso de energia voltada para a congelação e o resfriamento de alimentos, característico da conservação.

Dentro da indústria alimentar, os PCMS podem ser incorporados para a manutenção da temperatura durante a conservação e transporte de alimentos (ORÓ et al., 2012) e em congeladores (Gin; Farid, 2010; Lu; Tassou, 2013), ocasionando uma utilização da capacidade térmica mais alargada nos equipamentos para manter a temperatura dos alimentos voltando-se para os parâmetros da segurança alimentar.

Outro ponto que vem sendo amplamente estudado é a construção de embalagens inteligentes, usando pcms promover a proteção térmica e, consequente, preservação do produto, PCM's podem ser aplicados em embalagens Termo ativas, auxiliando na manutenção de temperatura tanto de produtos pré-prontos para o consumo, como na cadeia do frio, durante o armazenamento e a distribuição destes (Lagaron et al., 2014).

Os PCM são utilizados em diversas situações, sobretudo no controle de temperatura para resfriamento e congelamento. Muitos estudos têm sido feitos na área da refrigeração alimentar, assegurando os parâmetros de controle e principalmente a utilização de energia, conforme pode ser explanado nos estudos e aplicações a seguir:

- O uso de painéis PCM para melhorar as condições de armazenamento de alimentos congelados por Gin e Farid (2010) onde o principal objetivo do estudo era investigar o efeito dos painéis de mudança de fase (PCM) colocados contra as paredes internas de um freezer durante repetidas perdas de energia a cada 24 h durante um período de 2 semanas.

- Análise térmica de uma unidade de armazenamento a baixa temperatura usando materiais de mudança de fase sem sistema de refrigeração por Oró et.al (2012), que objetivou avaliar a resposta térmica de baixa temperatura câmaras de abertura incorporando materiais de mudança de fase (PCM) com baixo congelamento temperatura quando submetido a falha do sistema de refrigeração. Isto é para simular alimentos transportados em caminhões ou vans não-refrigerados.

- Análise das possibilidades de uso de materiais de mudança de fase em trocadores de calor-acumuladores, por Pakalka et.al (2017), que avaliaram uma operação eficiente e econômica do armazenamento de energia térmica e diferentes conceitos de projeto para integração do PCM no trocador/acumulador de calor a serem investigados.

- Armazenamento de energia térmica para aplicações a baixa e média temperatura utilizando materiais de mudança de fase - Uma revisão por Cunha & Eames (2016) onde realizaram uma revisão abrangente dos materiais de mudança de fase (PCMs) com temperaturas de transição de fase entre 0 e 250 C.

- Pacote "Ativo" para Proteção Térmica de Produtos alimentícios por Espeau et al 1997) onde os recipientes de parede dupla que utilizam materiais de mudança de fase de liga molecular são propostos como embalagens para proteção térmica de produtos alimentícios líquidos.

- Desenvolvimento de Materiais de Mudança de Fase para Transporte Refrigerado de Frutas e Vegetais por Xie et al (2016), os mesmos realizaram uma pesquisa analisando o desenvolvimento de materiais de mudança de fase orgânica e PCMS inorgânico-orgânico, caracterizando as vantagens e desvantagens dos PCMs analisados e desenvolvendo uma mudança de fase do armazenamento a frio por meio de um material composto.

- Materiais compostos celulósicos para o armazenamento a frio de produtos perecíveis produtos: Desde a preparação do material até a avaliação computacional por Melone et.al (2012) que propuseram o uso de materiais de mudança de fase (PCM) compostos para o projeto de armazenagem a frio de embalagem, onde foi demonstrada a possibilidade de obter compósitos com diferentes aquecedores latentes na faixa de 4-10 C através de medições de calorimetria diferencial de varredura.

Muitos outros estudos estão sendo desenvolvidos sobre o uso de PCM na Agroindústria devido a sua elevada possibilidade de armazenamento de energia.

Materiais e Métodos Experimentais

Neste capítulo serão abordadas as estratégias metodológicas utilizadas para analisar o controle de temperatura em uma embalagem com PCM em diferentes cenários. Para tanto, em um primeiro momento, será apresentado os materiais escolhidos para realização do protótipo da embalagem bem como o PCM escolhido para o estudo. Na sequência, será apresentado os equipamentos utilizados para obtenção do projeto de medição dos dados nomeadamente, temperaturas e humidade.

Como se sabe, na etapa de armazenamento é importante a manutenção da temperatura e humidade adequada para que seja permitido reduzir a atividade metabólica do produto, através do controle da temperatura, reduzir o crescimento e disseminação de microrganismos e da prevenção da acumulação de água na superfície dos produtos, reduzir as perdas de água e os efeitos negativos do etileno (Almeida, 2005).

Portanto, três fatores serão correlacionados no experimento:

- **Tempo-** Fator determinante para a conservação de alimentos refrigerados. Quanto maior o tempo de exposição à temperaturas elevadas, maior o risco de contaminação.
- **Humidade-** A humidade relativa refere-se à razão entre a pressão de vapor de água do ar e a pressão de vapor de saturação na mesma temperatura. Normalmente é expressa em percentagem, variando de 0%, no ar seco, a 100%, em ar completamente saturado com vapor de água (Guadarrama, 2001).
- **Temperatura-** As temperaturas ótimas de armazenamento variam de produto para produto, sendo muito importante a seleção da temperatura para cada produto, a par das condições de humidade relativa (Pinto e Morais, s.d.).

O esquema a seguir abrange as etapas de concepção experimental, bem como delimita todos os estágios do estudo a fim de evidenciar o comportamento da temperatura e humidade em função do tempo. A metodologia foi dividida em dois experimentos: O primeiro considera o PCM na embalagem e o segundo apenas a embalagem.

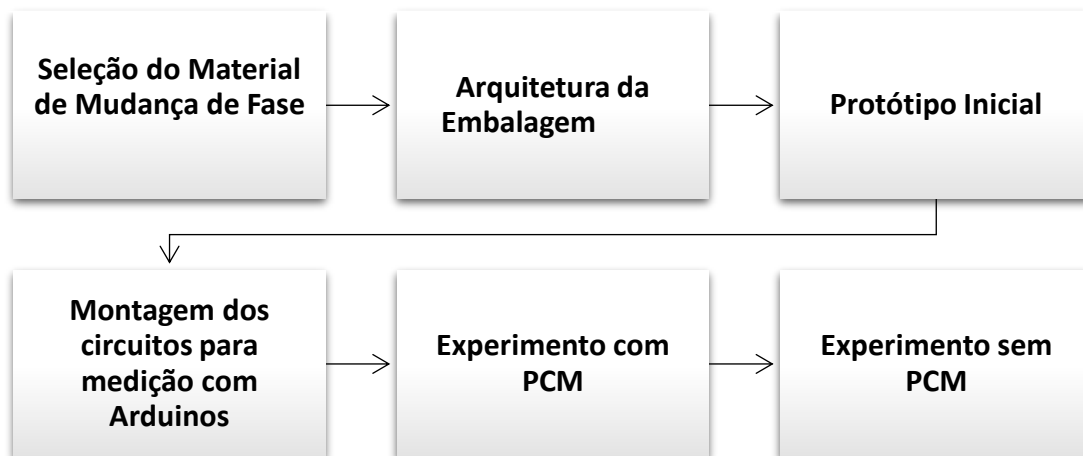


Figura 20: Etapas Metodológicas

3.1. Seleção do Material de Mudança de Fase

A substância escolhida para ser incrementada na embalagem foi a RT5HC da empresa *RUBI-THERM*, que são macro encapsulados e propícias a serem utilizadas em uma logística de resfriamento, permitindo uma tempera passiva nas embalagens. O objetivo principal desse PCM é a estabilização da temperatura em um determinado nível, podendo ser escolhida em alguns casos.

É um PCM puro que faz uso da mudança de fase sólida e líquida para armazenar e liberar grandes quantidades de energia térmica a uma temperatura quase constante. Tem como propriedades:

- Alta capacidade de armazenamento de energia térmica;
- O armazenamento e a liberação de calor ocorrem a temperaturas relativamente constantes;
- Sem efeito de super-resfriamento, quimicamente inerte;
- Produto de longa vida útil, com desempenho estável durante os ciclos de mudança de fase;
- Faixa de temperatura de fusão entre -9 °C e 100 °C disponível

A composição do PCM é que ele é uma substância, nomeadamente uma parafina, normal $C > 10$. O quadro abaixo especifica os dados mais importantes a serem levados em consideração:

Tabela 8: Características do RT5HC

Características	Valores Típicos
Área de Fusão	5-6 °C (Pico principal-6)
Área de congelamento	6-5 °C (pico principal-5)
Capacidade de armazenamento de calor: $\pm 7.5\%$ Combinação de calor latente e sensível em uma faixa de temperatura	250 (Kj/Kg) 70 (Wh/Kg)
Capacidade Térmica específica	2 (Kj/Kg*K)
Densidade Sólida até -15°C	0.88 (Kg/l)
Densidade Líquida até 20°C	(0.76 (kg/l)
Condutibilidade de calor (ambas as fases)	0.2 (W/ (m*k))
Expansão de volume	13 %
Ponto de luz	115°C
Temperatura máxima de operação	45 °C

Fonte: Rubitherm

A faixa de temperatura para estabilização usando o RT5HC é de +2 a +10°C, que é uma faixa importante na comercialização de hortofrutícolas. A faixa de fusão é usada para evitar superaquecimento ou sub resfriamento. A Figura 21 exemplifica a distribuição da entalpia parcial de distribuição, quando atrelada à temperatura, evidenciando o derretimento e a solidificação do material.

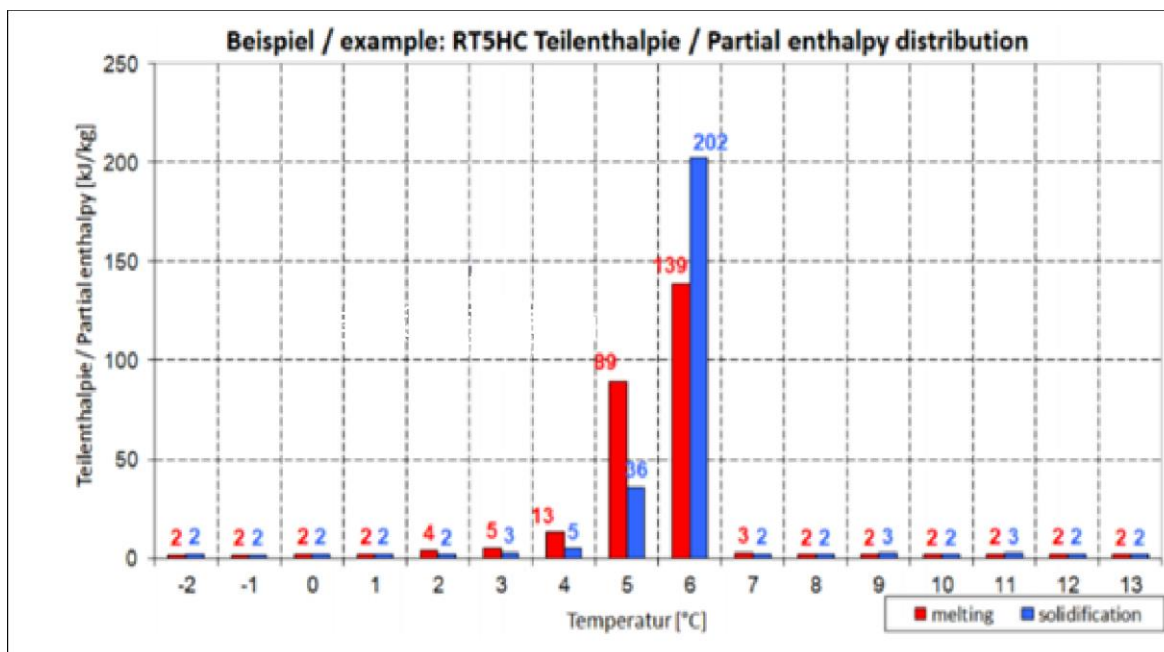


Figura 21: Distribuição de Entalpia Parcial **Fonte:** Rubitherm,2019

Após análises dos tipos de PCM's disponíveis, optou-se pelo PCM macro encapsulado em bolsa a ser inserido no interior do protótipo da embalagem, conforme pode ser visto na figura a seguir. A geometria da bolsa está caracterizada de forma a adaptar-se à caixas de papel cartonado retangular, a fim de promover uma estabilidade dos dois materiais referidos. Esta bolsa pode ser utilizada diversas vezes em qualquer outra embalagem com as especificações semelhantes ao protótipo do estudo.



Figura 22: PCM macro encapsulado da RUBITHERM

3.2. Arquitetura da Embalagem

Na construção de uma embalagem voltada para armazenamento de produtos frescos, optou-se pela escolha de polímero celulósico, o papel cartonado, devido a este material ser de fácil acesso, baixo custo, quimicamente reciclado e isento de qualquer material contaminante para os alimentos.

Com o auxílio e apoio da Gráfica Ideal, localizada em Portugal, foi realizado o estudo do material de forma a considerar que esta embalagem deveria ter as seguintes especificações:

1. Espessura do papel cartonado dupla face de 4mm;
2. Embalagem deve suportar 4 kg;

A Figura 23 representa a arquitetura da embalagem, relacionando o comprimento x largura x profundidade da caixa, onde se deu especial atenção ao formato garantindo assim a adequabilidade da caixa ao fim à que se destina, levando em consideração as especificações das multicamadas para que a mesma possua barreiras que protejam os alimentos, como também potencialize as características de estabilizar a temperatura na utilização do PCM.

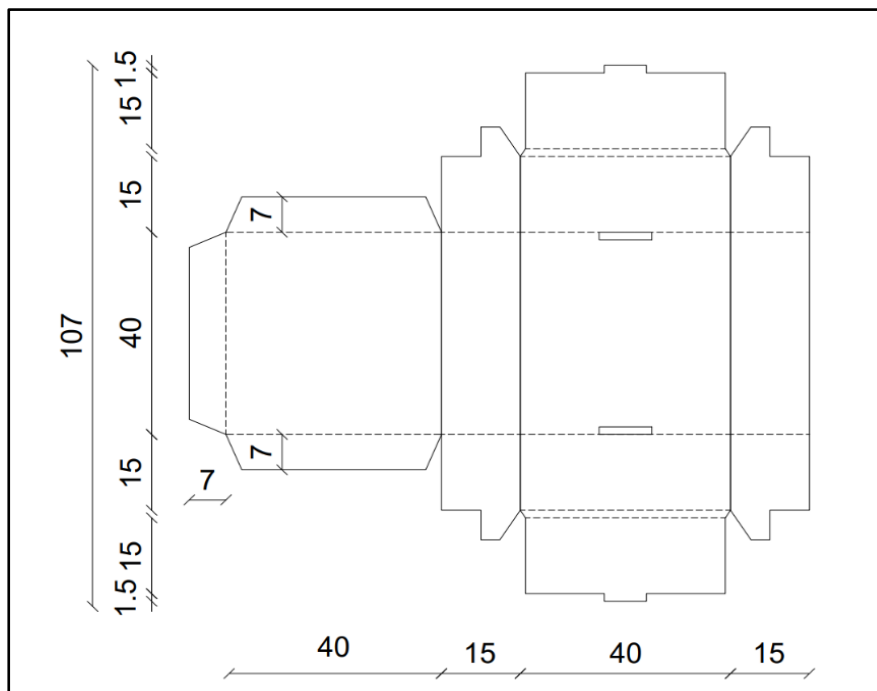


Figura 23: Arquitetura da Embalagem

3.3. Protótipo Inicial

Originou-se uma embalagem de médio porte, para ser utilizada na armazenagem e transporte de produtos alimentares refrigerados, com o objetivo de suportar as variações de temperatura e humidade nas etapas de distribuição, armazenagem e troca de armazéns. Os principais componentes da embalagem são o papel cartonado e as bolsas de PCM's, onde o primeiro pode ser reutilizado e/ou reciclado a qualquer momento e o segundo armazenado para uso posterior em outras embalagens. O corpo da embalagem apresenta um perfil retangular para facilitar o empilhamento e carregamento durante todo o processo, conforme pode ser visto na Figura 24.



Figura 24: Protótipo Inicial

3.4. Projeto para medição utilizando Arduino Uno

Para realizar as medições foi necessário a montagem de duas frentes de monitoramento, a primeira para medições da temperatura e humidade externa à caixa e a segunda para medições dos

mesmos parâmetros na região interna da caixa. Ambos circuitos são iguais e utilizaram o mesmo sensor de medidas: o DHT11.

O DHT11 é um sensor digital composto por um sensor calibrado de saída. É aplicado para a coleta de dados no sensoriamento de temperatura e humidade para garantir que o produto tem alta confiabilidade e excelente estabilidade à longo prazo. Possui um alto sentido de resistência aos componentes húmidos e um dispositivo de medição de temperatura NTC, conectado à um microcontrolador de alta performance. Suas especificações podem ser vistas na Tabela 9.

Tabela 9: Especificações do DHT11

Especificações	DHT11
Faixa de Temperatura	0 ° C a 50° C
Precisão na temperatura	± 2°C
Resolução na temperatura	1°C
Faixa de Humidade relativa	0 a 80%
Precisão na Humidade	± 5% RH
Resolução de humidade	1% RH
Tempo de Resposta	1s
Alimentação	3,5V a 5v
Corrente de Utilização	2.5 mA

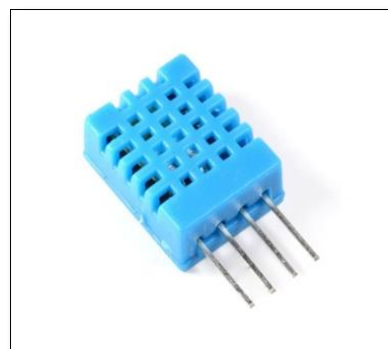
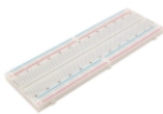





Figura 25: DHT11

Fonte: Datasheet

Os componentes necessários para a montagem dos circuitos foram:

Tabela 10: Componentes do Sistema

Componente	Quantidade	Imagem
Protoboard	2	
Sensor de temperatura e humidade DHT11	2	
Kit cabos de ligação (Jumpers)	Diversos	
Arduino Uno R3	2	

Para a montagem dos circuitos, é necessário conectar o Dht11 na protoboard e com os jumpers fazer a conexão com o Arduino Uno. O Dht11 utilizado foi o de 3 pinos, que já possui resistência, pelo que não é necessário inserir no sistema, como pode ser visto no Tinkecard abaixo.

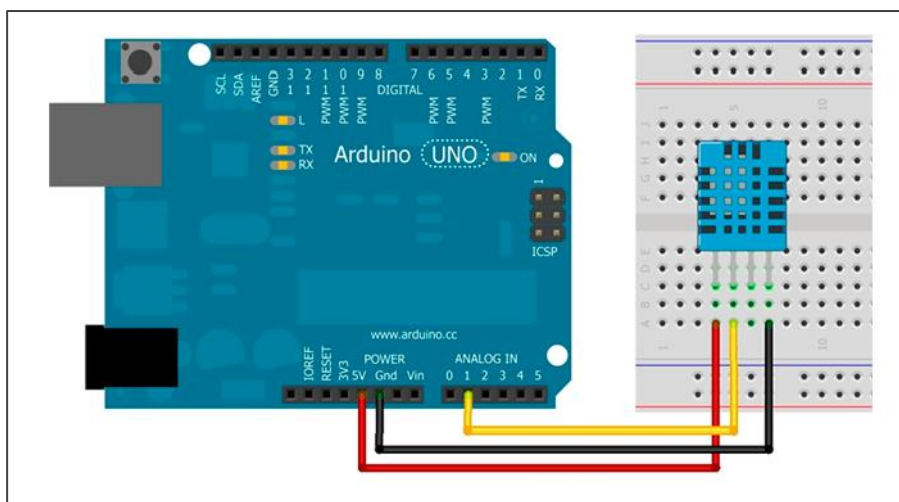


Figura 26: Tinkecard do plano de montagem

Após realizar a montagem do circuito é necessário ligá-lo ao software do Arduíno incluindo a biblioteca necessária DHT_lib, desenvolvida para os sensores DHT11 e DHT22. O sketch utilizado no projeto é para medições apenas de temperatura e humidade, ocorrendo a cada 2 segundos, o que permite um monitoramento mais detalhado e preciso.

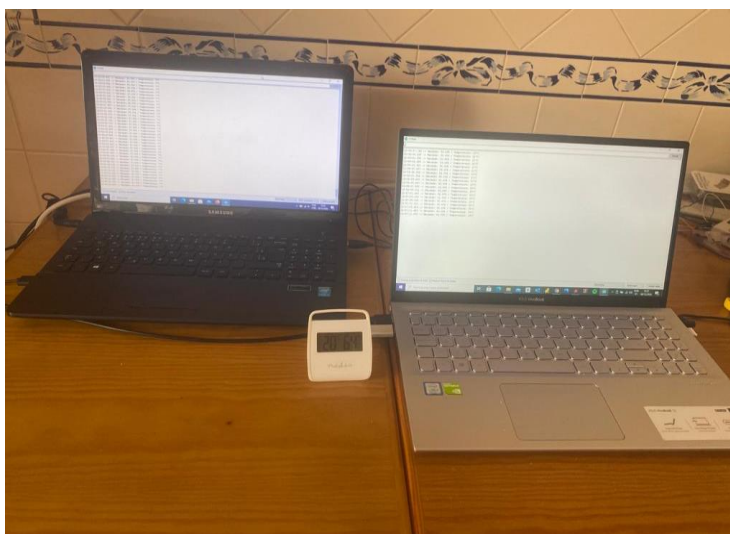
3.5. Experimento

O experimento foi dividido em duas etapas. A primeira etapa realizou medições de temperatura e humidade durante duas horas com as duas estações de medição. Uma estação estava localizada no interior da caixa para analisar o comportamento dos dados com o Material de Mudança de Fase (PCM) e a outra estação estava localizada no exterior para parametrizar a temperatura e humidade externa à caixa. Durante as duas horas, eram realizadas medidas de 2 em 2 segundos, para que se pudesse acompanhar quaisquer mudanças bruscas dos parâmetros.

A segunda etapa obteve a mesma metodologia da primeira, diferenciando-se apenas com a retirada do PCM da embalagem para efeitos comparativos da utilização do mesmo em termos qualitativos. Nos dois momentos a caixa foi submetida inicialmente a uma temperatura exterior baixa que aumentava com o tempo.

A Figura 27 abaixo, evidenciam a estação laboratorial, identificando a localização dos sensores.

Estações de saída de dados, com o Arduíno conectado, realizando medições a cada 2 segundos.



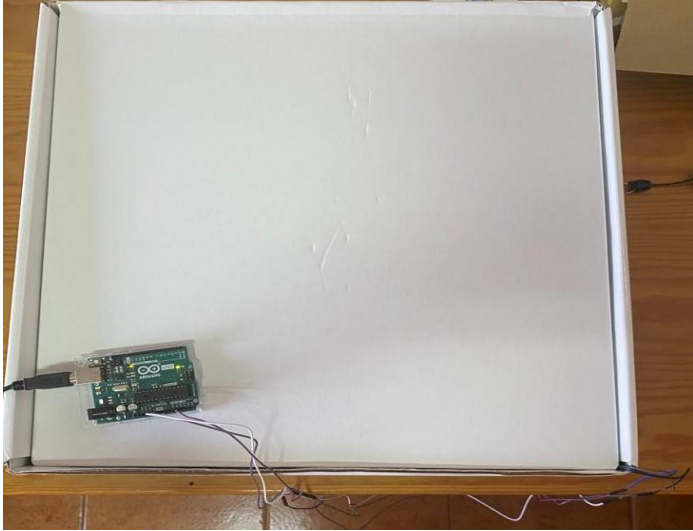
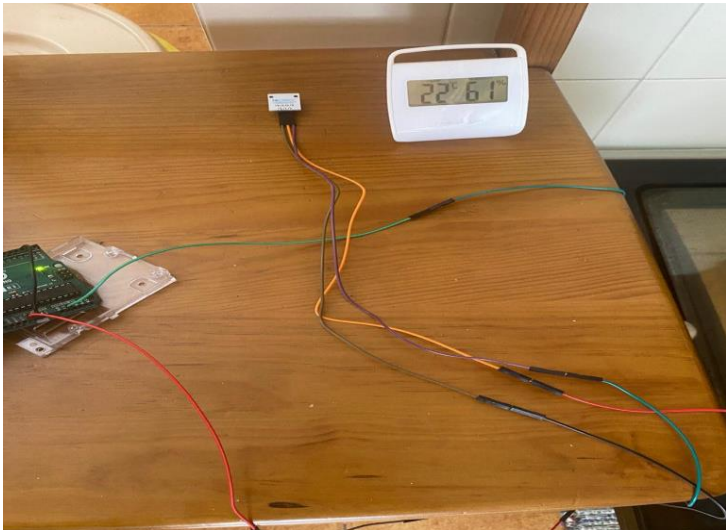
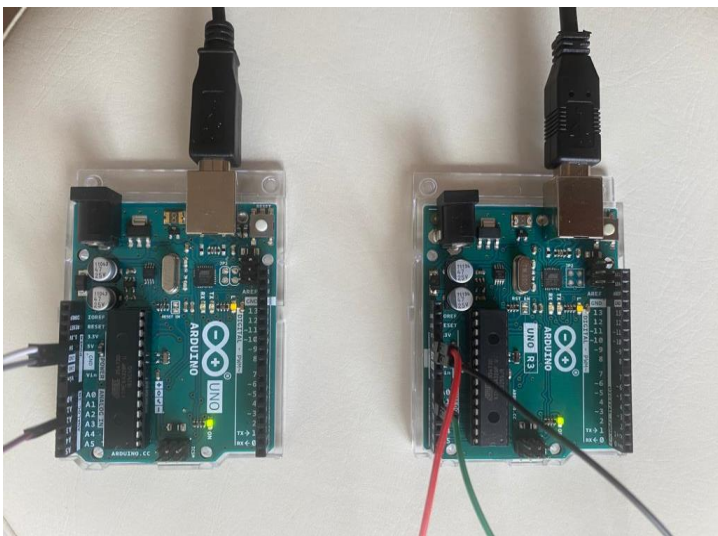
<p>Sensor medindo temperatura e humidade interna na caixa.</p>	
<p>Sensor no exterior, medindo temperatura e humidade ambiente.</p>	
<p>Arduínos para medições internas e externas.</p>	

Figura 27: Etapas do Experimental

Resultados e Discussão

Os dados obtidos na parte experimental, foram submetidos à análise estatística e serão apresentados nesta secção seguindo as hipóteses assumidas anteriormente, apresentando os resultados em subcapítulos idênticos, correspondentes às medições realizadas com e sem PCM na embalagem. O principal objetivo do estudo é identificar se o PCM consegue manter a temperatura baixa enquanto as temperaturas externas aumentam. O sensor de temperatura ambiente iniciou a medição a partir de uma câmara frigorífica refrigerada com temperaturas oscilando entre 9°C e 10°C, onde encontrava-se a caixa também. Logo após a retirada dos dois sensores iniciou a análise do aumento da temperatura e humidade externa em detrimento dos dados internos. Pelo histórico nas duas situações, a temperatura externa obedeceu o aumento para ambas, o que permite analisar adequadamente as temperaturas dentro da caixa.

Neste trabalho, durante o seu tempo de estudo, foi necessário manipular a temperatura ambiente, aquecendo o espaço, de forma a fazer com que a oscilação de temperatura fosse real, como se comparada a um abrir e fechar de portas dos camiões ou a esperar de paletes de produtos a espera de ser recolocado no seu local para venda/ confeção.

4.1 Caixa com PCM

Foi colocado na caixa 2 kg de uma fruta refrigerada que necessita manter-se entre 10 a 15 °C, apenas para análise, não necessariamente sendo importante a identificação da mesma. Na caixa já estavam acondicionados os PCM's. No primeiro momento a temperatura dentro e fora da caixa era a mesma, porque os dois sensores estavam acondicionados em uma câmara fria, conforme falado anteriormente. Logo após a retirada da caixa e do sensor de medição externa, percebe-se que a temperatura ambiente

começa a subir ligeiramente. Em uma temporalidade de duas horas, percebe-se a variação de temperatura e o momento em que ela se mantém constante.

Na tabela, apresenta-se os resultados por procedimentos mencionados, onde se observa que os valores de temperatura e humidade internos crescem na medida que a temperatura externa aumenta. Porém, é notável que a temperatura interna da caixa com PCM, tem uma variação de temperatura lenta, ocorrendo um aumento de 4°C, cerca de 30 minutos depois de um aumento brusco de temperatura externa de 17°C, garantindo uma conservação controlada em detrimento de flutuações altas, aumentando apenas 7°C durante as duas horas do processo. Esse aumento lento faz com que não haja modificações bruscas na qualidade do alimento, fazendo com que ele permaneça íntegro e saudável até o seu destino final. que se nota é que o aumento da temperatura e humidade se dá de forma lenta, o que permite uma melhor conservação dos alimentos quando submetidos às temperaturas externas capazes de modificar suas qualidades.

No que concerne à humidade, o aumento da mesma se deu também de forma gradual, enquanto que a humidade externa diminuía. Para frutos refrigerados é importante que a mesma se mantenha entre 80-85%, o que, como pode ser visto, apesar das flutuações, manteve-se.

Tabela 11: Dados da embalagem com PCM

Tempo	Humidade (%) Interna	Temperatura (°C) Interna	Humidade (%) (Externa)	Temperatura °C (Externa)
00:00:00	75	10	76	10
00:02:01	76	10	69	9
00:09:00	79	10	92	16
00:10:01	79	10	82	21
00:11:01	79	10	67	24
00:12:00	81	10	61	26
00:13:01	80	10	57	27
00:32:00	78	14	55	26
00:46:00	79	15	59	26
00:47:00	79	15	58	25
01:06:00	79	16	63	24
01:36:29	81	16	67	24
01:39:01	82	17	67	23
01:40:00	82	17	68	23
02:00:00	83	17	70	23

Este cenário pode ser visto nos gráficos 1 e 2 que demonstram a variação de temperatura e humidade para cada sensor.

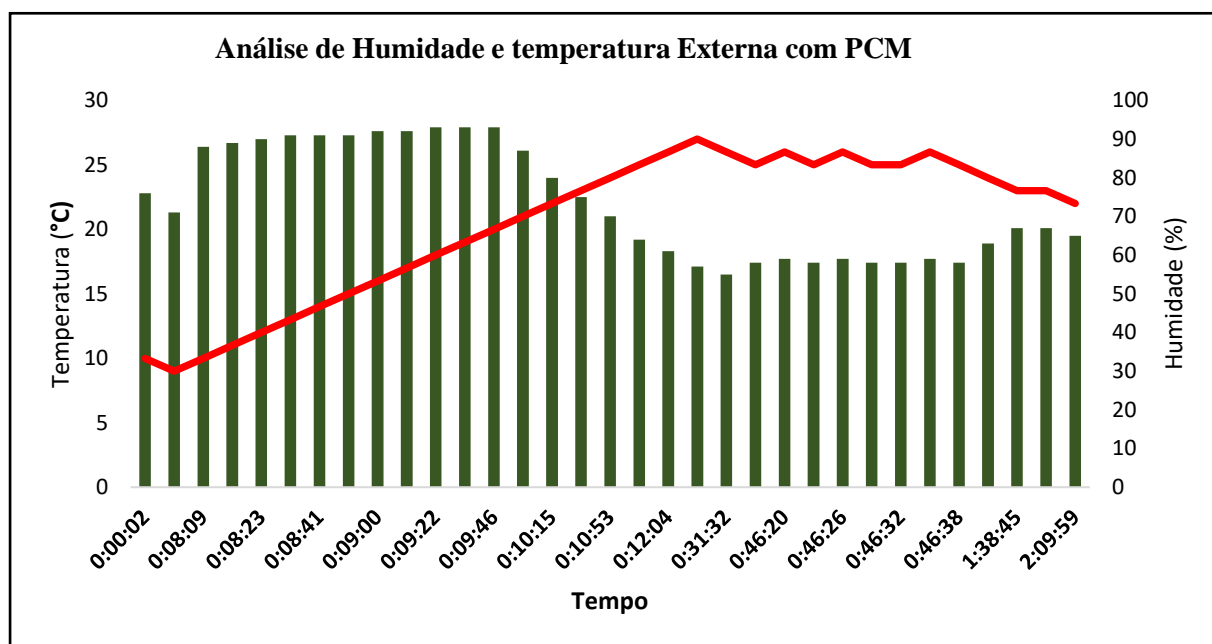


Gráfico 1:Análise de Humidade e Temperatura Externa com PCM

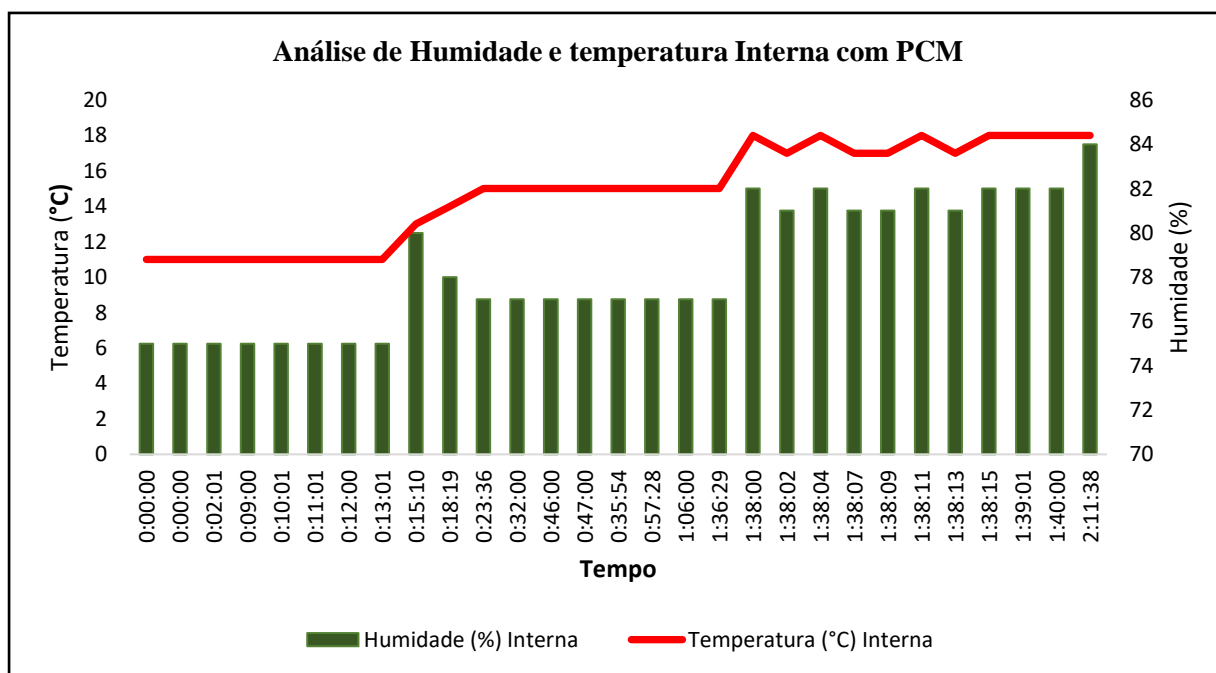


Gráfico 2: Análise de Humidade e Temperatura Interna com PCM

Nos gráficos 3 e 4, obtém-se as comparações entre os dois sensores em detrimento do tempo que foram expostos.

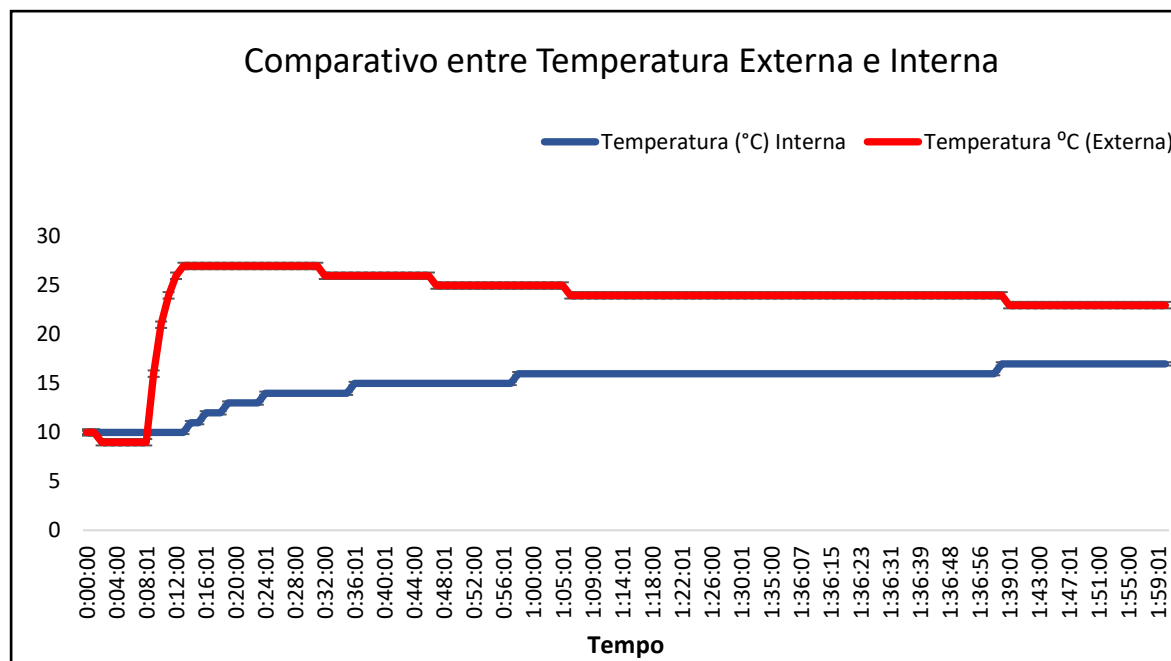


Gráfico 3: Comparativo de temperaturas com PCM

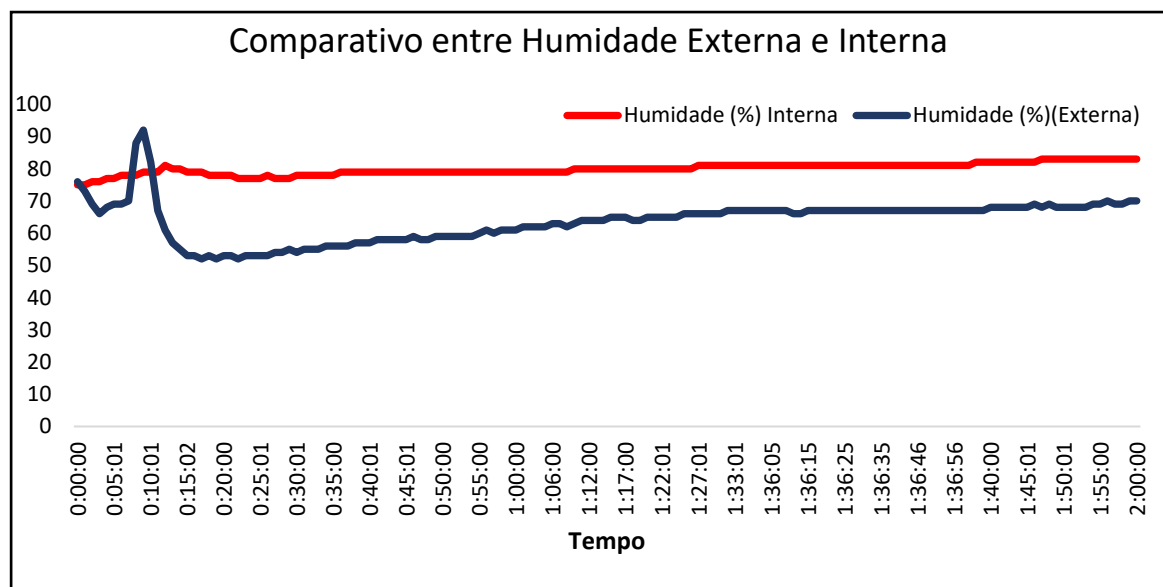


Gráfico 4: Comparativo de Humidades com PCM

4.2 Caixa sem PCM

Da mesma forma que foi realizado o cenário para o primeiro estudo, foi realizado para este. A única diferença entre eles é apenas a retirada do PCM da caixa. Essa proposital retirada do PCM é para

uma melhor comparabilidade dos cenários, visto a importância da manutenção da temperatura e humidade nos parâmetros exigidos para a conservação de produtos refrigerados.

Desse modo, os dois sensores iniciaram as medições na câmara frigorífica, com temperaturas diferentes, sendo o interior da caixa a uma temperatura inferior ao interior da câmara, logo em seguida com a retirada da caixa para o ambiente externo, nota-se o aumento brusco de temperatura no interior, demorando apenas 6 minutos para alcançar o mesmo aumento de temperatura na situação anterior, aumentando 10°C em duas horas de contagem, sob o mesmo cenário de flutuações de temperatura exterior. Como pode ser visto na Tabela 12. Essa forte tendência ao aumento ligeiro da temperatura é uma situação muito delicada e que deve ser evitada na conservação de alimentos durante a armazenagem, fazendo com que haja uma forte probabilidade de desaceleração do tempo de vida útil do produto, principalmente pela queda das qualidades do mesmo.

Houve também uma notável variação na humidade, finalizando a análise com 72% de humidade, o que também representa uma situação crítica para o estudo. Fazendo com que a disponibilidade de água do produto reduza, podendo ocasionar uma desidratação e possível contaminação.

Tabela 12: Dados da embalagem sem PCM

Tempo	Humidade (%) Interno	Temperatura (°C) Interno	Humidade(%) ex- terna	Temperatura externa (%)
00:00:00	86	9	88	14
00:02:01	85	9	92	17
00:03:00	83	10	86	19
00:04:01	81	11	75	21
00:05:00	79	12	72	22
00:06:00	76	13	70	22
00:07:01	74	13	68	23
00:08:00	72	14	68	23
00:09:01	70	15	67	23
00:12:01	68	16	65	23
00:13:00	67	16	60	25
00:14:01	67	16	57	26
00:15:00	66	16	54	27
00:17:01	66	16	51	28
00:18:00	66	17	50	28
00:20:00	65	17	49	27
00:23:00	65	17	50	26

00:26:01	65	17	49	25
00:32:00	66	17	52	24
00:50:00	68	17	56	24
00:51:01	68	17	56	23
00:55:01	71	18	56	23
01:30:00	72	19	56	23
02:00:00	72	19	57	23

Este cenário pode ser visto nos gráficos 5 e 6 que demonstram a variação de temperatura e humidade para cada sensor.

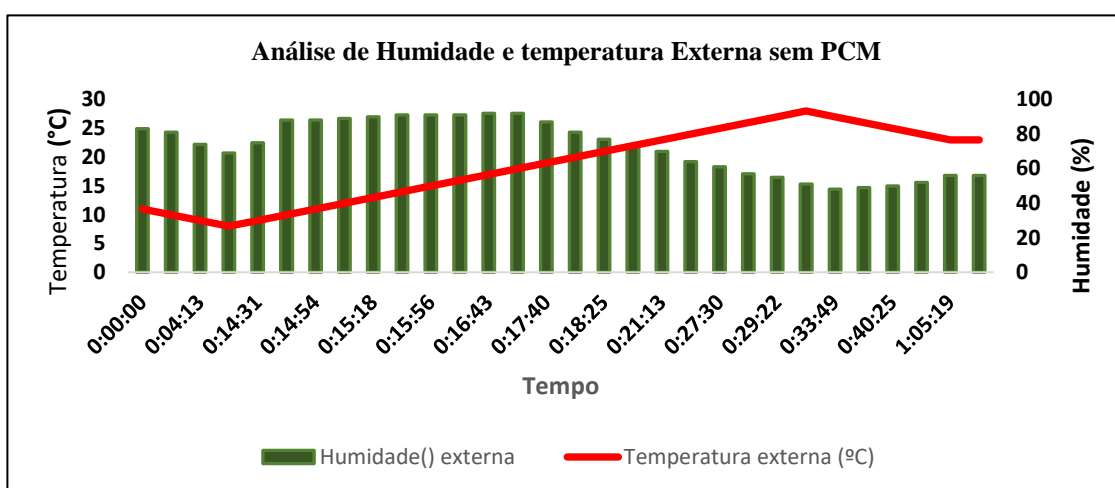


Gráfico 5: Análise de Humidade e temperatura Externa sem PCM

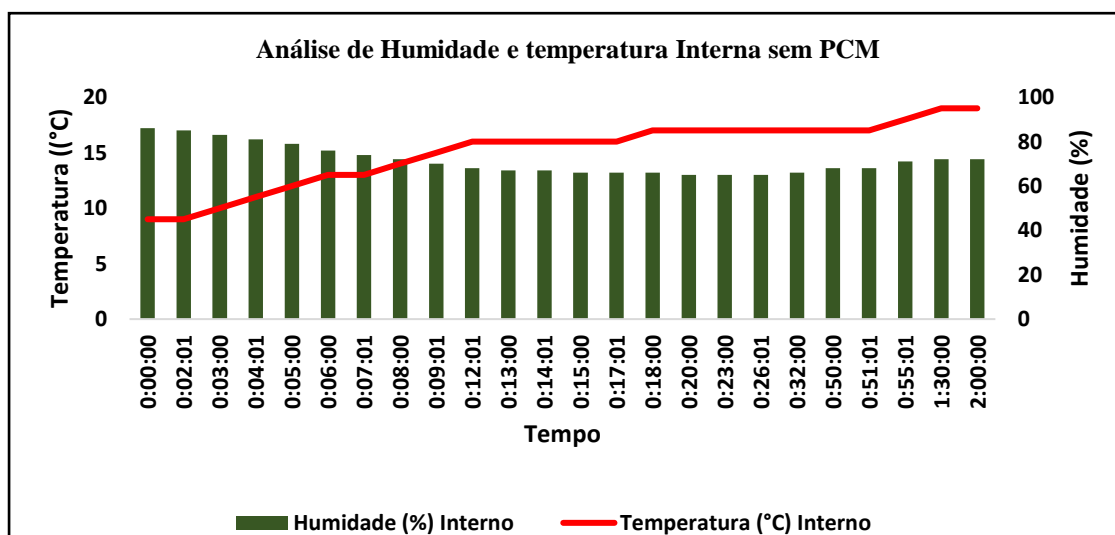


Gráfico 6: Análise de Humidade e Temperatura Interna sem PCM

Nos gráficos 7 e 8, obtém-se as comparações entre os dois sensores em detrimento do tempo que foram expostos:

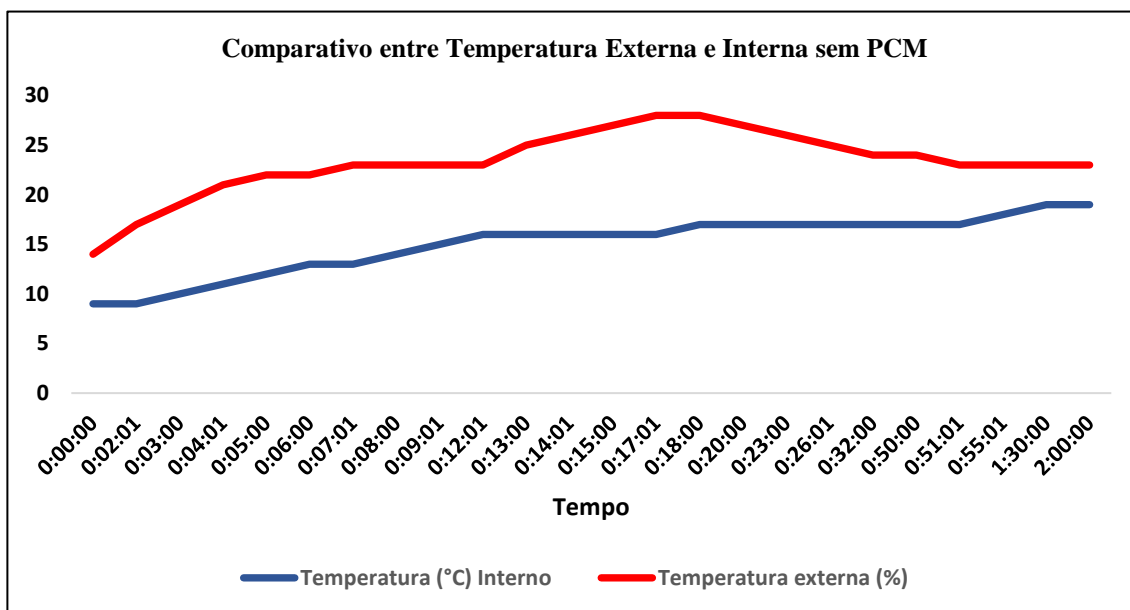


Gráfico 7: Comparativo de temperaturas sem PCM

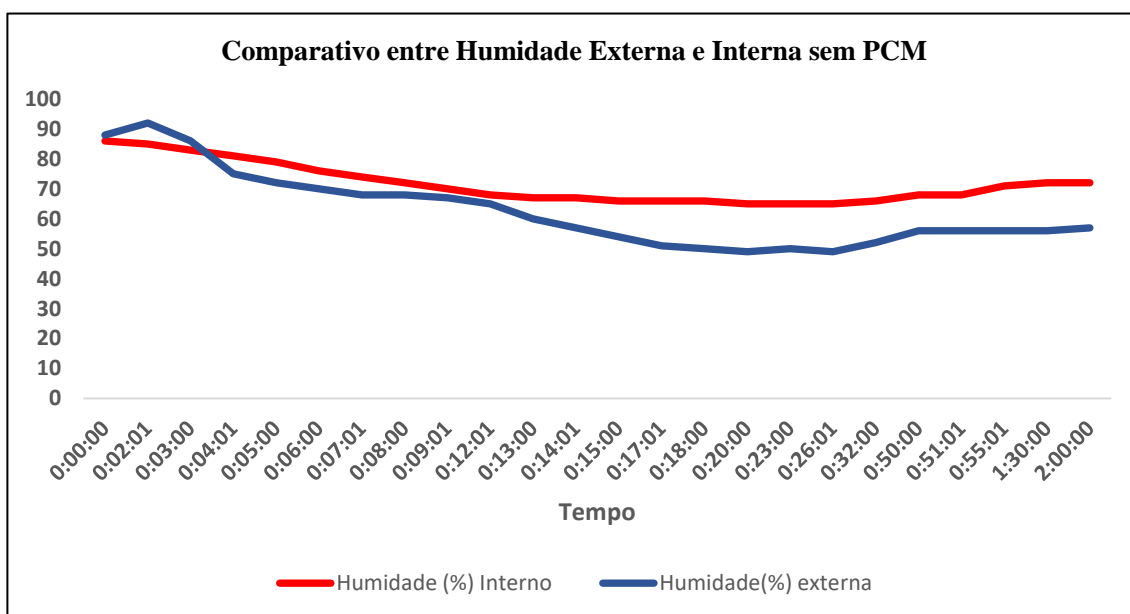


Gráfico 8: Comparativo de Humidades sem PCM

Em detrimento das duas análises realizadas, foi equiparado, conforme pode ser visto na Tabela 13 o comparativo de temperaturas e humidades internas na caixa COM e SEM o Material de Mudança de Fase (PCM). Esta comparação teve o objetivo de avaliar os registros de temperatura e humidade para

entender a necessidade de concepção de embalagens inteligentes, que não agredem os produtos se comparados com o gelo ou com outros tipos de materiais de manutenção de temperatura, ou como ocorre muitas vezes, com a embalagem sem auxílio nenhum de manutenção, ocasionando uma percentagem de perda pós colheita, muito elevada.

Tabela 13: Comparação entre as os dois cenários

Sem PCM			Com PCM	
Tempo	Humidade (%) Interna- Sem PCM	Temperatura (°C) Interna- Sem PCM	Humidade (%) Interna - Com PCM	Temperatura (°C) Interna -Com PCM
00:00:00	86	9	75	10
00:03:00	83	10	75	10
00:04:01	81	11	81	11
00:05:00	79	12	81	11
00:06:00	76	13	81	11
00:08:00	72	14	81	11
00:09:01	70	15	81	11
00:12:01	68	16	81	11
00:13:05	68	16	80	12
00:15:10	68	16	78	13
00:18:00	66	17	78	13
00:18:19	66	17	77	14
00:23:36	66	17	79	15
00:35:54	66	17	79	16
00:55:01	71	18	79	16
00:57:28	71	18	82	17
01:30:00	72	19	82	17
01:38:00	84	19	82	17
02:00:00	72	19	82	17

Os gráficos 9 e 10 compararam as temperaturas, evidenciando a diferença brusca do aumento de temperatura em detrimento da utilização do PCM

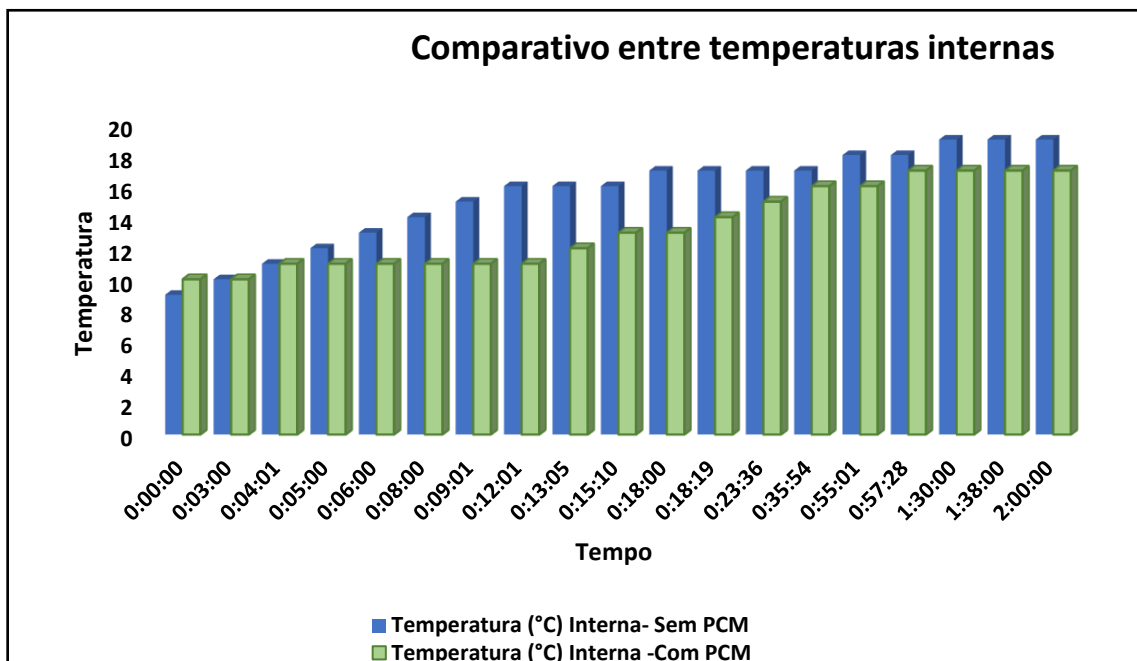


Gráfico 9: Comparativo entre temperaturas Internas com e sem PCM

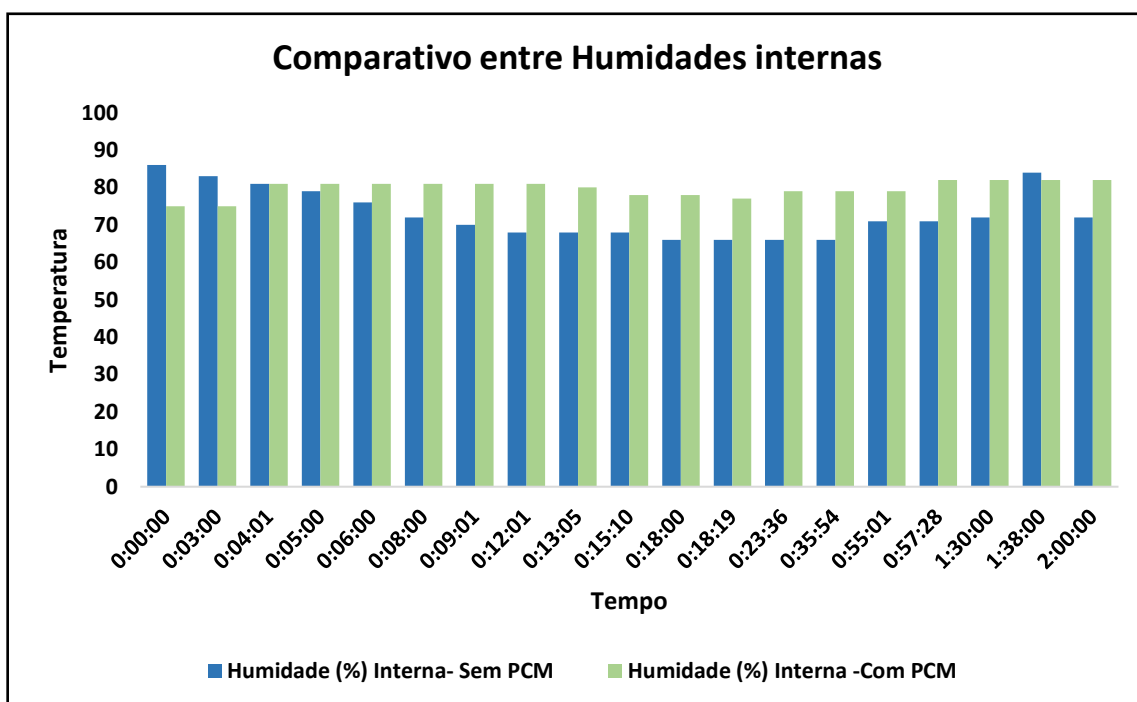


Gráfico 10: Comparativo entre Humidades Internas com e sem PCM

O PCM estabiliza a temperatura e humidade por um tempo mais prolongado, fazendo com que as variações ocorram de forma lenta como pode ser visto a diferença do aumento de temperatura para a

embalagem sem PCM e a manutenção da temperatura para a embalagem com PCM e também a queda da humidade ocorrendo uma variação com um intervalo muito alargado, o que traz consequências para as ações preventivas de conservação.

Percebeu-se então que aos 12 minutos, o experimento sem PCM teve uma variação de 77,8% enquanto que o material com PCM variou 10%. O material com PCM após as duas horas de análise, alcançou 70% de variação, considera-se então a eficácia da análise com PCM em relação à conservação, por assegurar a temperatura durante uma maior variação do tempo, o que para produtos alimentícios é crucial .

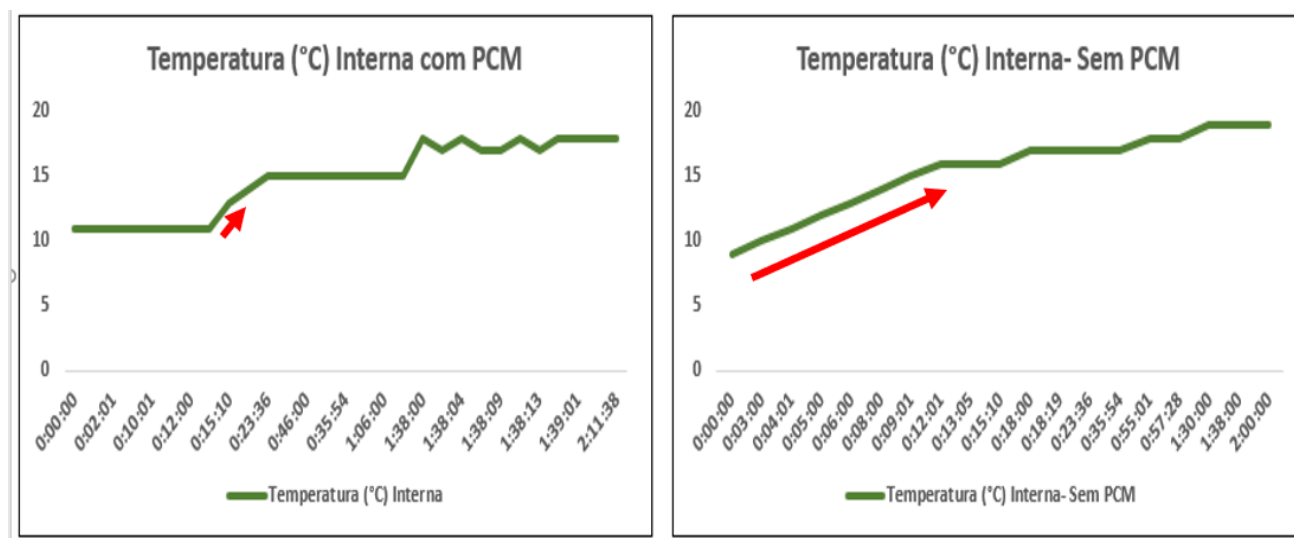


Figura 28: Gráficos comparativos de Temperatura Interna com e sem PCM

Conclusões e perspectivas futuras

A conservação de alimentos é um desafio da humanidade desde a antiguidade, quando se realizava de forma arcaica o armazenamento de alimentos. Hoje com muito mais tecnologia à disposição e também mais exigência do consumidor, é importante que a indústria consiga obter meios de conservar os alimentos que necessitam de refrigeração de forma segura a fim de reduzir custos e principalmente conseguir controlar os seus processos com qualidade e eficiência, obtendo um produto final com mais tempo de prateleira e com todas as qualidades asseguradas.

Não obstante, ainda se analisa a ótica do desenvolvimento sustentável, do poluir menos, tópicos esses que estão sempre em alta na sociedade civil e que foram levados em consideração na escolha dos materiais para construir a embalagem ativa. O primeiro material composto por pasta celulósica, pode ser altamente reciclado e o segundo, o PCM RT5HC, permite ser utilizado inúmeras vezes, reduzindo custos com materiais todas as vezes que necessitar armazenar para distribuir produtos.

Dentro desse aspeto, o principal objetivo desse trabalho foi desenvolver uma embalagem ativa utilizando papel cartonado e material de mudança de fase no seu interior, para a conservação de alimentos refrigerados que possam ser colocados em situações de aumento de temperatura durante o seu processo de armazenamento e distribuição e que mantenham a temperatura em seu interior, possibilitando aos alimentos manter-se constantes nos seus processos químicos e físicos de maturação e senescência.

Essa embalagem ativa, utilizando um material de mudança de fase é uma abordagem nova que, conforme pode ser visto no decorrer dos experimentos, trouxe vantagens no que concerne a manutenção da temperatura e humidade, oferecendo vantagens no decorrer da cadeia de abastecimento.

O desenvolvimento desse trabalho permitiu que fosse analisado a incorporação de materiais de mudança de fase em embalagens para a conservação alimentar. Com os experimentos realizados, através de dois sistemas utilizando Arduíno UNO e sensores DHT11, percebeu-se que com a implantação do PCM, a temperatura e a humidade se mantiveram constantes por um período maior se comparada à embalagem sem PCM, retardando a curva de crescimento da temperatura e humidade, possibilitando assim, a chegada dos produtos em boas condições para os consumidores.

Por fim, acredita-se de ter cumprido o propósito do estudo, contribuindo com uma nova perspectiva para armazenamento termo ativo na Agroindústria, o que significa um grande passo para esse setor, visto que a percentagem de perda pós colheita é expressivamente alta e os gastos energéticos bastante expressivos, como evidenciado no estado da arte.

Sugestões para futuros trabalhos

- Verificação experimental da embalagem em um setor Agrícola- Análise da temperatura e humidade em um sistema de cadeia de distribuição;
- Confeção de uma embalagem com papel cartonado e PCM micro encapsulado, resultando na utilização de um único material.
- Estudo das propriedades químicas, físicas e organoléticas de um determinado alimento incorporado na embalagem

Tendo em vista que a temática dos materiais de mudança de fase ainda está em crescimento para aplicações Agroindustriais, sugere-se maiores incentivos para trabalhos futuros bem como aperfeiçoamento e continuidade desse projeto.

Referências Bibliográficas

- APA, Agência Portuguesa do Meio Ambiente. Quadro Estratégico para a Política Climática, 2019. Disponível em : <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=81&sub2ref=1181>.
- Agyenim, Francis; Neil Hewitt. The development of a finned phase change material (PCM) storage system to take advantage of off-peak electricity tariff for improvement in cost of heat pump operation. *Energy and Buildings* 42 (2010) 1552–1560. 2010. Disponível em: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/54552799/AGYENI_1.PDF?1506525410=&response-disposition=inline%3B+filename%3DThe+development+of+a+finned+phase+change.pdf&
- Almeida, D. 2005. Manuseamento de produtos hortofrutícolas. 1ª Edição. Sociedade Portuguesa de Inovação Consultadoria Empresarial e Fomento da Inovação, S.A., Porto.
- Alves, M. R. P. A. Logística agroindustrial. In: BATALHA, M. O. (Org.). Gestão agroindustrial. 2. ed. São Paulo: applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 13, n. 2. *Argamassas com desempenho térmico melhorado*, Informacao disponivel online em: article/pii/S1359431102001928>
- Amado, L.F.Q. Medidas de eficiência Energética no setor Industrial. Instituto superior de Engenharia de Coimbra. Departamento de Engenharia eletrónica, 2018. Disponível em: <https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/25476/1/Luis-Filipe-Quintas-Amado.pdf>
- Ashrae. Refrigeration Systems and Applications - ASHRAE Handbook, ASHRAE 2006.
- Bachmann, J.; Earles, R. 2000. Postharvest handling of fruits and vegetables. 1st Edition. Mississippi: ATTRA Horticulture Technical Note, 19 p.
- Baptista, P. - Sistemas de Segurança Alimentar na Cadeia de transporte e Distribuição de Produtos Alimentares [Em linha]. Guimarães: Forvisão, 2007. Disponível em: [www:<http://elearning.iefp.pt/pluginfile.php/47923/mod_resource/content/0/manual-vol3.pdf>](http://elearning.iefp.pt/pluginfile.php/47923/mod_resource/content/0/manual-vol3.pdf). ISBN 9789728942038.
- Baptista, p. (2006). *Higiene e segurança no transporte de produtos alimentares*. Guimarães: forvisão - consultadoria em formação integrada, s.a.
- Baptista, P. E Noronha, J., Segurança Alimentar em Estabelecimentos Agro-Alimentares: Projecto e Construção, Forvisão – Consultoria em Formação Integrada, Guimarães, Portugal, 2003

- Baptista, P. e Noronha, J., *Segurança Alimentar em Estabelecimentos Agro-Alimentares: Projecto e Construção*, Forvisão – Consultoria em Formação Integrada, Guimarães, Portugal, 2003.
- Beirão-da-Costa, S.; Moura-Guedes M. C.; Ferreira-Pinto M. M, Empis, J.; Moldão-Martins, M. Alternative sanitizing methods to ensure safety and quality of fresh-cut kiwifruit. *Journal of Food Processing and Preservation*, v.38, p.1-10, 2014. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-4549.2012.00730.x>
- Borré, M.H.; Agito, N. *Operadores Logísticos Frigorificados*. Santa Catarina: Grupo de Estudos Logísticos da Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.
- Brasil. Resolução RDC nº 21, de 26 de janeiro de 2001. Aprova o “Regulamento Técnico para Irradiação de Alimentos”. ANVISA: 2001.
- Cabral, A., C.; Madi, L., F., C.; Soler, R., M., Ortiz, S., A. - *Embalagens de Produtos Alimentícios*. Campinas: ITAL, Campinas - SP; 1983. 338p.
- Campbell, G. (Ed.). *Food Science and Technology*. Ames: Willey-Blackwell / IUFOST, 2009, 508p.
- Carvalho, Carolina Correa de. *Otimização Dinâmica da Logística de Distribuição de Produtos Alimentícios Refrigerados e Congelados*-Campinas, SP [s.n], 2013. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.
- Celpa. Boletim Estatístico 2019. Disponível em: <http://www.celpa.pt/category/boletins-estatisticos/>
- Çengel e Michael A. Boles, *termodinâmica*, 3ª ed., Revisão técnica de Jorge Martins; tradução de Eurico Rodrigues e João Paulo Ferreira, McGraw-Hill, 2001.
- Chitarra, m. I.; Chitarra, A. B. *Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio*. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005. 783p. *control*, BASF, Germany.
- Costa, Susana P. Lemos. *Armazenamento de Energia Térmica Através de Materiais de Mudança de Fase*. 2014. UPORTO.
- Decreto-Lei Nº 152-D/2017. Unifica o regime da gestão de fluxos específicos de resíduos sujeitos ao princípio da responsabilidade alargada do produtor. *Diário da República*. 2º Suplemento, Série I de 2017-12-11
- Dias, J, A, Q. (2012). *Concepção de Instalações Frigoríficas em Expansão Direta versos Sistemas Inundados. Análise Energética das soluções*. Trabalho final de mestrado para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Departamento de Engenharia Mecânica. Lisboa
- Dias, J. C. - *Logística, Logistics and Suplly Chain Management*. Sebenta da Unidade Curricular de Engenharia Mecânica. Lisboa: ISEL, 2014

- Dincer, I. and Rosen, M.A., *Thermal energy storage, Systems and Applications*, John Elsevier, 1989. 512 p.em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032109002469>>.
- Direção geral de Energia e Geologia, Balanço energético. 2019. Disponível em: <https://www.dgeg.gov.pt/pt/destaques/balanco-energetico-nacional-2019/>.
- Eurostat, 2020. Disponível em: https://ec.europa.eu/eurostat/web/rss/Portugal_pt
- Evangelista, J. Tecnologia de alimentos. 2.ed. Rio de Janeiro. Editora Atheneu, 1994.
- Evans, A., V. Strezov, and T.J. Evans, *Assessment of utility energy storage options for increased renewable energy penetration*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2012. 16(6)
- Fellows, PJ. Tecnologia do Processamento de Alimentos. Porto Alegre: Artmed, 2ª ed., 2006.
- Ferraz, F., Gomes, M., O histórico da Refrigeração, Fluidos Refrigerantes, Ozônio/Processo de Formação/Destruição, Sistemas de Refrigeração, Componentes se um Sistema de Refrigeração. CEFET-BA, Santo Amaro, 2008. 60p.
- FFMS. Fundação Francisco Manuel dos Santos. PORDATA. de Base de Dados Portugal Contemporâneo: <http://www.pordata.pt/Subtema/Europa/Energia149>.
- Filipe. R.A. C. C. Avaliação do Aumento da Eficiência Energética de uma Central de Frio. Isel, 2009. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Departamento de Engenharia de Sistemas de Potência e Automação.
- Food and Agriculture Organization (FAO), World health Organization (WHO) Food safety risk analysis. A guide for national food safety authorities. Rome: FAO; 2016.
- Gava, A.j. Silva, C.A.B, Frias,j.r,g Tecnologia de alimentos: princípios e aplicações. São Paulo: Nobel, 2008.
- George, R.M., Freezing Processes Used in the Food Industry, Trends in Food Technology, vol. 4, p. 134-138, 1993.
- Ghosh, T. K., Prasad, D. H. L., Dutt, N. V. K., Rani, K. Y. – Viscosity of Liquids: Theory, Estimation, Experiment, and Data. 1ª ed. Dordrecht: Springer, 2006. ISBN 978-1-4020-5481-5.
- Giannakourou, M.C.; Koutsoumanis, K.; Nychas, G.J. e Taoukis, P.S. (2005) Field Evaluation of the Application of Time Temperature Integrators for Monitoring Fish Quality in the Chill Chain, International Journal of Food Microbiology, v. 102, pp. 323-336
- Gonçalves; Mariana Mendes, *Estudo de novos materiais de mudança de fase*, in *Tese de mestrado em Química*. 2009, Universidade de Aveiro.
- Gosney. W.B., Principles of refrigeration, Cambridge University Press, 1982.

- Guadarrama, A. 2001. Fisiologia postcosecha de frutos. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Maracay, Venezuela. 139 p.
- Huang, Li, Günther, E., Dötsch, C., Mehling, H., Subcooling in PCM emulsions – Part 1: Experimental. *Thermochimica Acta*, 509 2010 p. 93-99.
- INE, I. P., Estatística Agrícolas 2018. Lisboa, Portugal, 2019
- International Trade Centre (ITC). Food Packaging: a Reference Book for Trainers. Geneva, ITC, 1998;
- Jorge N. Embalagens para Alimentos. São Paulo: Cultura Acadêmica, Universidade Estadual Paulista, Pró-Reitoria de Graduação, 2013. <http://www.santoandre.sp.gov.br/pesquisa/ebooks/360234.PDF>
- Kousksou, T. et al. Energy storage: Applications and challenges. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, v. 120, Part A, p. 59–80, jan. 2014.
- Lagaron, J. M.; Lopez-rubio, A.; Fabra, M. J.; Pérez-masiá, R. Chapter 31 - Microencapsulation and Packaging—Value Added Solutions to Product Development, Atul Ramesh Khare and Robert Sobel, Academic Press, San Diego, 2014.
- Lambert, D. M. S., James, R. (1993) Strategic Logistics Management 3^{ed}, Irwin, EUA p.22-23.
- Lao, S. I.; Choy, K. L.; HO, G. T. S.; TSIM, Y. C.; POON, T. C.; CHENG, C. K. A real-time food safety management system for receiving operations in distribution centers. *Expert Systems with Applications*, v. 39, n. 3, p. 2532-2548, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2011.08.105>.
- Leonardi, J. G.; Azevedo, B. M. Métodos de conservação de alimentos. *Revista Saúde em Foco*, Amparo-SP, v. 10, n. 1, 2018.
- Lidon F, Silvestre MM: Industrias Alimentares. Aditivos e Tecnologia. Lisboa; 2008.
- Martins, P.J. Modelação Numérica do desempenho energético de unidades de Refrigeração para conservação de produtos alimentares. Universidade de Beira Interior, Covilhã, 2012. Disponível em: <https://ubibliorum.ubi.pt/bitstream/10400.6/2449/1/pdf>
- Mattozo, V.; Camargo, C.B. e Lage, N.L.; Trabalho de Jornalismo Científico para Conservação de Energia: Fundamentos de uma Proposta. Tenerife - Espanha, 2000. Disponível em: <http://www.ull.es/publicaciones/latina/aa2000kjl/w34oc/51mattozzo.htm>.
- Mendes J.F., J.A., Giestas M, Horta P, Brites M. J., *Armazenamento de Energia Solar Térmica*. 2009, Laboratório Nacional de Energia e Geologia.
- Mestriner, Fabio. Design de embalagem – curso básico. 2 Edição. São Paulo: Pearson Makron Books, 2002. 138 p

- Mondal, Subrata (2008) - Phase change materials for smart textiles – An overview.
- Moreira, Helder M. Marques. Estudo do armazenamento de energia térmica para utilização de calor residual na climatização de edifícios, 2018. P24. U.PORTO.
- Nantes, J.F.D.; Machado, J.G.C.F. Aspectos Competitivos da Indústria de Alimentos no Brasil. In: Identificação de Gargalos Tecnológicos na Agroindústria Paranaense. Curitiba: Iparde, p. 129, 2005.
- Neuza, Jorge. Embalagens para alimentos /São Paulo: Cultura acadêmica: Universidade Estadual Paulista; 2013 ISBN 978-85-7983-394-6
- Neves Filho, L.C.; Refrigeração e Alimentos. Campinas, UNICAMP-FEA / IBF,1997.
- Neves, Carla Aurora M. Fernandes. Estudo comparativo entre os consumos energéticos de uma instalação de refrigeração convencional e uma instalação de refrigeração verde. Universidade do Porto. FEUP, 2015.
- Nunes; Lucília Maria Gomes, *Eficiência energética de edifícios : Contributo dos PCMs e Parede Trombe*, in *Tese de mestrado em Engenharia Civil*. 2011, Universidade de Aveiro.
- Oetterer, Marília. Fundamentos de ciência e tecnologia em alimentos. São Paulo: Manole, 2006.
- Ordóñez, J.a. ET AL. Tecnologia de Alimentos: Componentes dos alimentos e processos. Porto Alegre: Artmed, 2005.v.1.
- Oró, E.; Miró, L.; Farid, M. M.; Cabeza, L. F. Thermal analysis of a low temperature storage unit using phase change materials without refrigeration system. International Journal of Refrigeration, v. 35, n. 6, p. 1709–1714, 2012.
- Pedelhes, G. J. Funções e valores na logística. GELOG UFCS. 2005.
- Pereira, V., Doria, E., Junior, B., Silveira, V., & Filho, L. (2010). Avaliação de temperaturas em câmaras frigoríficas de transporte urbano de alimentos refrigerados e congelados. Ciência e tecnologia de alimentos, 158-165.
- Pinto, P.; Morais, A. 2000. Boas Práticas para a Conservação de Produtos Hortofrutícolas. 1ªEdição, AESBUC – Associação para a Escola Superior de Biotecnologia da Universidade Católica, Porto.
- Plastic Europe, 2019. Disponível em: <https://www.plasticseurope.org/en>
- Poças, M. F. F.; Moreira, R. Segurança alimentar e embalagem.CINATE. Edição: ESB/UCP - Porto 2003.

- Poletto, E. L. (2006). Aprimoramento de uma bancada de ensaios de desempenho de compressores herméticos visando reduzir incertezas de medição. Dissertação submetida para obtenção do grau de mestre em Metrologia. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.
- Rahman, M. S.; RUIZ, J. F. V. Food Preservation by Freezing. In: RAHMAN, M. S. Handbook of Food Preservation. Boca Raton: CRC Press, p. 635-657, 2007.
- Regulamento N° 852/2004 do Parlamento Europeu, relativo à higiene dos géneros alimentícios. Parlamento Europeu e o Conselho da União Europeia. 2004.
- Rizvi, S. S. H. Thermodynamic Properties of Foods in Dehydration. In: RAO, M. A.; RIZVI, S. S. H.; DATTA, A. K. eds. Engineering Properties of Foods. 3 ed. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2005. 1-88 p.
- Rocha, A. (2008). Conservação dos produtos ao longo do tempo – respostas da indústria de refrigeração. Segurança e Qualidade Alimentar. N°4, p.33-35.
- Sá. Nuno A. Oliveira. Identificação do tipo e quantidade de PCM adequado ao clima Português. Universidade do Minho. Escola de Engenharia, 2015. BI 13387440.
- Salin, V. & Nayga, R.M “A cold Chain Network for food Exports to developing countries”. International Journal of Physical Distribution & Logistic Management.
- SarieR N., Onder E. Thermal characteristics of polyutethane foams incorporated with phase change materials. Thermochimica Acta 454(2007^a) 90-98.
- Sarlé, J. G. El Frío y los Alimentos. In: Ponencia del “II Curs D’Especialització sobre Disseny D’Instal·lacions Frigorífiques en la Indústria Agroalimentària”. Universitat de Lleida, Espanha, 1999.
- Schmidt, M., *Phase Change Materials – latent heat storage for interior climate* Solar Cells, v. 120, Part A, p. 59 – 80, 2014. ISSN 0927-0248.
- Sharma, A. Et al. Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v.13, n2, 2009.
- Silva; Nelson Tiago Dias Ferreira da Incorporação *de Materias de Mudança de Fase em Materiais de Construção*, in *Tese de Mestrado em Engenharia Civil*. 2009, Universidade do Minho.
- Smith; Michael Christopher, Microencapsulated Phase Change Materials For Thermal Energy Storage. 2009, Phd in the University of Auckland.
- Stoecker, W.F.& Jabardo J.M.S. Refrigeração Industrial. São Paulo: Edgard Blucher, 2002.
- Teixeira R. F. M. Materiais de mudança de fase (pcm) Absorção sonora do RT 18. Faculdade de engenharia do porto. Mestrado Integrado em Engenharia Civil- 2019

- Ticsay, C., 2014. "Incorporating Phase Change Materials Into Textiles." *illumin* no. XV (II). <http://illuminate.usc.edu/printer/2/get-that-34just-right34-feel-incorporatingphase-change-materials-into-textiles/>.
- Tristão P. J. S, "Encapsulação de Materiais de Mudança de Fase (PCM) para Aplicações no Armazenamento de Energia," Para obtenção do grau de Mestre em Energias Renováveis e Eficiência Energética, Escola Superior de Tecnologia e Gestão - Instituto Politécnico de Bragança , 2014. Paranaense. Curitiba: Iparde, p. 129, 2005. >
- Van der Vorst, J., Tromp, S. and Zee, D. (2009), Simulation modeling for food supply chain redesign: integrated decision making on product quality, sustainability and logistics, *International Journal of Production Research*, Vol. 47, nº 23, 1 December 2009, pp. 6611-6631
- Vermeiren, L.; Devlieghere, F.; Van Besst, M.; Kruijf, N.; Debevere, J. Developments in the active packaging of food. *Trends in Food Science & Technology*, v.10, p. 77-86, 1999.
- Vitorino, N., Abrantes, João C. C., Frade, Jorge R., Cellular PCM/grafite composites with improved thermal and electrical response. *Materials Letters*, 92 2013 p. 100-103.
- Waschull, J., Guhlemann, T., Development of a Phase Change Composite Material for Heat Storage. 2nd International Renewable Energy Storage Conference, 2007: Bonn, Germany.
- Zalba, B., Marín, J. M., Cabeza, L. F., Mehling, H., Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications. *Applied Thermal Engineering*, 23 2003 p. 251-283.